

SKRIPSI ME-1501

**KAJIAN KESELAMATAN AKTIVITAS
TRANSPORTASI LAUT TERHADAP
COLLISION PADA *BOUY* NO. 15 SURABAYA**

BIMO WIRA PARA
NRP. 4211 100 055

Dosen Pembimbing
AAB Dinariyana DP, S.T, M.ES, Ph.D
Prof. DR. Ketut Buda Artana, S.T, M.Sc.

Jurusan Teknik Sistem Perkapalan
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2015

FINAL PROJECT ME-1501

***COLLISION RISK ASSESSMENT AT BOUY
NO.15 OF SURABAYA WEST ACCESS
CHANNEL***

*BIMO WIRA PARA
NRP. 4211 100 055*

*Dosen Pembimbing
AAB Dinariyana DP, S.T, M.ES, Ph.D
Prof. DR. Ketut Buda Artana, S.T, M.Sc.*

*DEPARTMENT OF MARINE ENGINEERING
Faculty of Marine Technology
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2015*

LEMBAR PENGESAHAN

**KAJIAN KESELAMATAN AKTIVITAS TRANSPORTASI
LAUT TERHADAP COLLISION PADA BOUY NO. 15
ALUR PELAYARAN BARAT SURABAYA**

SKRIPSI

*Diajukan untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh
gelar Sarjana Teknik pada bidang studi Realibility,
Availability, Maintainability, dan Safety (RAMS)*

*Program Studi S-1 Jurusan Teknik Sistem Perkapalan
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember*

Oleh:

BIMO WIRA PAR

4211100055

Disetujui oleh Ketua Jurusan Teknik Sistem Perkapalan :

DR. Ir. A. A. Masroeri, M.Eng.



**SURABAYA
JANUARI, 2015**

***KAJIAN KESELAMATAN AKTIVITAS TRANSPORTASI
LAUT TERHADAP COLLISION PADA BOUY NO. 15 ALUR
PELAYARAN BARAT SURABAYA***

Nama Mahasiswa : Bimo Wira Para
NRP : 4211100055
Jurusan : Marine Engineering
Dosen Pembimbing : AAB Dinariyana, ST, MES, PhD
Prof. Dr. Ketut Buda A, ST, M.Sc

Abstrak

Kajian keselamatan aktivitas transportasi laut terhadap tubrukan kapal merupakan hal yang penting dilakukan bukan hanya untuk mengetahui *safety level* pada sebuah alur pelayaran, namun juga untuk mengurangi potensi kejadian tubrukan. Pelabuhan Tanjung Perak, Pelabuhan Gresik dan Pelabuhan Teluk Lamong, Jawa Timur, yang berada di Alur Pelayaran Barat Surabaya memiliki peranan yang besar dalam aktivitas ekspor impor dan perdagangan nasional jalur laut. Untuk lebih mengembangkan perekonomian nasional, Kementerian Perhubungan Republik Indonesia akan mengembangkan Rencana Induk Pelabuhan Tanjung Perak dan Sekitarnya Secara Terintegrasi, dimana salah satu pengembangannya adalah pembangunan dermaga yang akan dikelola oleh PT. Berlian Manyar Sejahtera, yang berada di sekitar *Bouy* No.15. Pada skripsi ini menyajikan kajian keselamatan terhadap tubrukan kapal di *Bouy* No.15 Alur Pelayaran Barat Surabaya dengan metode IWRAP dan simulasi impak hasil tubrukan dilakukan dengan metode *Finite Element Analysis*. Penilaian ini bertujuan untuk mengetahui batas aman jumlah kapal yang diperbolehkan beroperasi di APBS setiap tahunnya. Data jumlah kapal yang berlayar di APBS didapatkan dari Pelindo sebagai Otoritas Pelabuhan di Indonesia. Hasil yang didapatkan berdasarkan analisis yang telah dilakukan terhadap *head on collision*, *drifting collision*, *overtaking collision*, dan *crossing collision* adalah

sebesar 0.420, 0.940, 0.940, dan 0.605 secara berurutan, yang berarti frekuensi dari masing-masing jenis tubrukan dapat diterima jika mengacu pada keadaan *future condition* dimana frekuensi tubrukan dapat diterima bila bernilai dibawah satu. Dari analisis perhitungan yang telah dilakukan didapatkan kesimpulan bahwa jumlah maksimal kapal yang dapat berlayar di Alur Pelayaran Barat Surabaya pada *future condition* adalah sebanyak 49.640 kapal/tahun.

Kata kunci : marine safety, collision risk, accident probability, risk assessment

COLLISION RISK ASSESSMENT AT BOUY NO. 15 OF SURABAYA WEST ACCESS CHANNEL

Name : Bimo Wira Para
NRP : 4211100055
Department : Teknik Sistem Perkapalan
Supervisor : AAB Dinariyana, ST, MES, PhD
Prof. Dr. Ketut Buda A, ST, M.Sc

Abstract

Marine transportation activities risk assessment due to collision is not only used to determine safety level in waterways, but also to reduced ship collision frequency. Port of Tanjung Perak, Port of Gresik, and Port of Teluk Lamong, East Java, which are located in Surabaya West Access Channel has a role of import, export, national trade on shipping lanes. To improved national economics, Ministry of Transportation will developed Integrated Port Master Plan, which one of the development is the port that will be managed by PT. Berlian Manyar Sejahtera located around Bouy No.15. This final project presents collision risk assessment at Bouy No.15 of Surabaya West Access Channel used IWRAP methods and the simulation of impact results is simulated by Finite Element Analysis Method. This assessment is aimed to determine the annuall limit number of vessel that allowed to pass through Surabaya West Access Channel. The number of ship is obtained from Pelindo as Indonesian Port Authorities. The results based on frequency analysis due to head on collision, drifting collision, overtaking collision, and crossing collision is 0.986, 0.987, 0.273, and 0.430 consecutively. This means, the frequency of each type of collision is acceptable. Based on the analysis, it is concluded that the limit number of vessel that allowed to pass on Surabaya West Access Channel in future condition is 49,640 ships/year.

***Kata kunci : marine safety, collision risk, accident probability,
risk assessment***

KATA PENGANTAR

Segala puji syukur kami panjatkan ke hadirat Tuhan Yang Maha Esa, karena atas rida dan rahmatNya Skripsi dengan judul “*Kajian Keselamatan Aktivitas Transportasi Laut terhadap Collision pada Bouy No. 15 Alur Pelayaran Barat Surabaya*” ini dapat diselesaikan dengan baik dan tepat waktu meskipun dengan keterbatasan waktu, pengetahuan dan pemikiran penulis. Penulis menyadari, skripsi yang ditulis bukanlah sesuatu yang instant. Hal itu merupakan buah pikir dari suatu proses yang amat panjang dan sangat menyita waktu dan tenaga.

Skripsi ini disusun sebagai salah satu syarat untuk mendapatkan gelar Sarjana Teknik di Jurusan Teknik Sistem Perkapalan, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

Dalam proses penyusunan Skripsi ini penulis telah mendapatkan dukungan dan bantuan dalam bentuk moral maupun materi dari berbagai pihak, sehingga penulis pun mengucapkan terima kasih kepada:

1. Yuli Ismiyati dan Budiono Widagdo selaku orang tua yang telah membesarkan dan membentuk penulis menjadi seperti sekarang. Terima kasih penulis ucapkan dengan memiliki kedua orang tua seperti beliau berdua karena hanya dengan dukungan beliau berdua, penulis dapat melanjutkan pendidikan hingga sekarang. Tanpa bapak dan ibu, mustahil penulis menjadi seperti sekarang. Begitu banyak yang telah diberikan, mulai penulis lahir hingga sekarang. Pengorbanan serta kasih sayang yang tak terhitung kepada penulis.
2. Bapak AAB Dinariyana DP, ST, MES, PhD selaku pembimbing pertama dan kepala laboratorium yang telah bersedia untuk membimbing penulis, memberikan pengarahan, motivasi serta saran dalam menyelesaikan skripsi ini. Terima kasih juga kepada beliau atas semua ilmu dan upaya yang telah diberikan kepada penulis selama menuntut

ilmu disini. Terima kasih untuk pengalaman dan nasihat yang belum pernah penulis dapatkan sebelumnya.

3. Prof. DR. Ketut Buda Artana, S.T, M.Sc. selaku dosen pembimbing kedua yang bersedia membimbing dan memberikan pengarahan kepada penulis. Terima kasih pula atas motivasi dan nasihat yang pernah disampaikan.
4. Ayudhia Pangestu Gusti, yang telah menemani dan berbagi arti kehidupan dan cerita yang telah dijalani bersama penulis.
5. Tyo Putra Widagdo selaku kakak tertua yang telah memberi semangat dan motivasi untuk terus berjuang.
6. Tim penguji bidang RAMS, bapak Ir. Dwi Priyanta, MSE, bapak Dr.Eng Trika Pitana, S.T, M.Sc, dan bapak Raja Oloan Saut Gurning, S.T, M.Sc, Ph.D yang telah memberikan masukan dalam pengerjaan skripsi ini dan pastinya memberikan ilmu yang tidak ternilai bagi penulis.
7. Dosen wali penulis bapak Ir. Tony Bambang Musrijadi, PGD, merupakan dosen wali sekaligus orang tua penulis selama masa kuliah yang telah memberi masukan yang teramat berarti bagi penulis. Terima kasih atas jasa beliau yang selalu mendukung usaha penulis untuk menyelesaikan studi.
8. Sugiyono, Sugiyanto, Triono, dan Tuti Sugiarti selaku paman dan tante penulis yang selalu memberikan dukungan dan doa yang sangat berarti bagi penulis.
9. Rekan-rekan Ampibi'11, terima kasih atas doa dan dukungan yang diberikan. Semoga tetap kompak sampai nanti.
10. Rekan-rekan seperjuangan RAMS Habib, Galih, Adi, Alfin, Good, Satrio, Hayi, Pujo, Tsani, Dinny, Iqba, Kiki, Emmy, Putri, Ucik, Windy, Mubarak, Annisa, Fahreza, Andre, Arif dll. Terima kasih untuk meramaikan rumah kita bersama.
11. Seluruh dosen, staf dan karyawan Teknik Sistem Perkapalan yang tulus membantu dan segala pihak yang tidak dapat disebutkan satu persatu.
12. Yang terakhir namun yang paling memberikan arti kehidupan dalam sebuah persahabatan YMMWSC Tio Minar, Sylvia Siahaan, Adityo Jatmikotomo, Annisa Nur Fitri, Ashri Ulima,

Livia Angelissa, Anisha Febriyani, Riandy Posma, Umar Faruk, Fenny Anassthasia, Ryan Arnoldi, Veronica Louisa, Melvin Silalahi, Ebenezer, Jonathan, Gomgom. Tanpa kalian sangat tidak mungkin penulis berada dalam kondisi sekarang.

Penulis menyadari sepenuhnya bahwa skripsi yang ditulis masih jauh dari sempurna, sehingga penulis mengharapkan saran dan masukan yang bersifat membangun ke arah yang lebih baik demi kesempurnaan ilmu yang telah diperoleh di Jurusan Teknik Sistem Perkapalan.

Akhir kata penulis berharap semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi pembaca.

Surabaya, Januari 2015

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	xiv
DAFTAR ISI	xviii
DAFTAR GAMBAR	xxi
DAFTAR TABEL	xxv

BAB I PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Perumusan Masalah	8
1.3. Batasan Masalah	8
1.4. Tujuan Skripsi	8
1.5. Manfaat	9

BAB II TINJAUAN PUSTAKA	11
2.1. Penilaian Risiko (<i>Risk Assessment</i>)	11
2.1.1. Hazard Identification	11
2.1.2. Analisis Frekuensi	11
2.1.3. Analisis Konsekuensi	12
2.1.4. Analisis Frekuensi <i>Ship-Jetty Head on Collision</i>	12
2.1.5. Analisis Frekuensi <i>Ship-Jetty Drifting Collision</i>	14
2.1.6. Analisis Frekuensi <i>Ship-Ship Head on Collision</i>	15
2.1.7. Analisis Frekuensi <i>Ship-Ship Overtaking Collision</i>	17

2.1.8. Analisis Frekuensi <i>Ship-Ship Crossing Collision</i>	18
2.1.9. Analisis Konsekuensi.....	20
2.2. <i>Software</i>	22

BAB III METODOLOGI PENELITIAN..... 25

3.1. Umum	26
3.2. Perumusan Masalah.....	26
3.3. Studi Literatur.....	26
3.4. Pengumpulan Data.....	26
3.5. Deskripsi Sistem.....	27
3.6. <i>Hazard Identification</i>	27
3.7. Penilaian Frekuensi.....	28
3.8. Penilaian Konsekuensi.....	29
3.9. <i>Modelling</i>	30
3.10. Mitigasi	30
3.11. Kesimpulan dan Saran	30

BAB IV ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN 31

4.1. Pengumpulan Data Analisis Risiko Tubrukan.....	31
4.1.1. Data Sistem	32
4.1.2. Data Kapal.....	32
4.2. Deskripsi Pemodelan Kasus Tubrukan.....	34
4.2.1. <i>Modelling I</i>	35

4.2.2. <i>Modelling II</i>	37
4.2.3. <i>Modelling III</i>	39
4.2.4. <i>Modelling IV</i>	41
4.3. Pembagian Area Kerja	42
4.4. Penilaian Risiko	44
4.4.1. Perhitungan Frekuensi.....	44
4.4.2. Perhitungan Konsekuensi	69

BAB V KESIMPULAN	87
-------------------------------	-----------

DAFTAR PUSTAKA	89
-----------------------------	-----------

LAMPIRAN I PENILAIAN FREKUENSI.....	91
--	-----------

LAMPIRAN II SOLIDWORK & <i>FINITE ELEMENT ANALYSIS METHOD</i>	97
--	-----------

BIOGRAFI PENULIS.....	111
------------------------------	------------

DAFTAR TABEL

Tabel 1. 1 Fasilitas Pengembangan JIPE	5
Tabel 4. 1 Jumlah Kapal di APBS	33
Tabel 4. 2 Prediksi Jumlah Kapal di APBS	33
Tabel 4. 3 Jumlah Kapal di PT.BMS per tahunnya	34
Tabel 4. 4 Frekuensi <i>Head on Collision Existing Condition</i>	47
Tabel 4. 5 Frekuensi <i>Head on Collision Future Condition</i>	48
Tabel 4. 6 <i>Overtaking Collision Existing Condition</i> pada Segmen 1	51
Tabel 4. 7 <i>Overtaking Collision Existing Condition</i> pada Segmen 2	52
Tabel 4. 8 <i>Overtaking Collision Future Condition</i> pada Segmen 1	53
Tabel 4. 9 <i>Overtaking Collision Future Condition</i> pada Segmen 2	54
Tabel 4. 10 <i>Crossing Collision</i> dengan $\theta=30^\circ$ pada Segmen 1 ...	58
Tabel 4. 11 <i>Crossing Collision</i> dengan $\theta=30^\circ$ pada Segmen 2 ...	59
Tabel 4. 12 <i>Crossing Collision</i> dengan $\theta=90^\circ$ pada Segmen 1 ...	61
Tabel 4. 13 <i>Crossing Collision</i> dengan $\theta=90^\circ$ pada Segmen 2 ...	62
Tabel 4. 14 <i>Crossing Collision</i> dengan $\theta=150^\circ$ pada Segmen 1 .	64
Tabel 4. 15 <i>Crossing Collision</i> dengan $\theta=150^\circ$ pada Segmen2 ..	65
Tabel 4. 16 Frekuensi <i>Drifting Collision</i> pada Segmen 1	67
Tabel 4. 17 Frekuensi <i>Drifting Collision</i> pada Segmen 2	68
Tabel 4. 18 Maksimal <i>Traffic in the Box</i>	69
Tabel 4. 19 Analisis Tubrukan dengan Sudut Tubrukan 30°	71
Tabel 4. 20 Analisis Tubrukan dengan Sudut Tubrukan 60°	72
Tabel 4. 21 Analisis Tubrukan dengan Sudut Tubrukan 90°	73
Tabel 4. 22 Analisis Tubrukan dengan Sudut Tubrukan 120°	74

Tabel 4. 23 Analisis Tubrukan dengan Sudut Tubrukan 150° 75

Tabel 5. 1 Hasil Frekuensi Tubrukan87

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. 1 <i>Java Integrated Industrian and Port Estate</i>	2
Gambar 1. 2 Peta Rencana Induk Pelabuhan <i>Jetty PT. BMS</i>	3
Gambar 1. 3 <i>Masterplan JIPE</i>	4
Gambar 1. 4 Lokasi <i>Bouy No. 15</i>	6
Gambar 2. 1 <i>Head on Collision</i>	13
Gambar 2. 2 <i>Collision Diameter</i>	14
Gambar 2. 3 <i>Drifting Collision</i>	15
Gambar 2. 4 <i>Head on Collision</i>	16
Gambar 2. 5 <i>Crossing Collision</i>	18
Gambar 2. 6 <i>Crossing Collision Diameter</i>	19
Gambar 2. 7 <i>Ship-ship Collision</i>	21
Gambar 2. 8 Pembuatan <i>Part Kapal</i> pada SolidWork	23
Gambar 2. 9 <i>Stress Analysis</i> pada simulasi	23
Gambar 2. 10 Analisis Benturan pada simulasi.....	24
Gambar 3. 1 <i>Flowchart</i> Pengerjaan Skripsi.....	25
Gambar 4. 1 Pemodelan Skenario Tubrukan I	35
Gambar 4. 2 Pemodelan Skenario Tubrukan II	37
Gambar 4. 3 Pemodelan Skenario Tubrukan III.....	39
Gambar 4. 4 Pemodelan Skenario Tubrukan IV.....	41
Gambar 4. 5 Pembagian Zona Kajian Keselamatan	43
Gambar 4. 6 <i>Fault Tree Analysis untuk Modelling I</i>	45
Gambar 4. 7 <i>Fault Tree Analysis Modelling II</i>	49
Gambar 4. 8 <i>Fault Tree Analysis Modelling III</i>	56
Gambar 4. 9 <i>Crossing Collision</i> dengan $\theta=30^\circ$	57
Gambar 4. 10 <i>Crossing Collision</i> dengan $\theta=90^\circ$	60
Gambar 4. 11 <i>Crossing Collision</i> dengan $\theta=150^\circ$	63

Gambar 4. 12 <i>Fault Tree Analysis Modelling IV</i>	66
Gambar 4. 13 <i>Colliding object</i> di SolidWork.....	76
Gambar 4. 14 Struktur lambung kapal di SolidWork.....	77
Gambar 4. 15 <i>Import colliding object</i>	77
Gambar 4. 16 Import struktur lambung kapal	78
Gambar 4. 17 Pemodelan Tubrukan.....	78
Gambar 4. 18 Model impak energi 181,43 MJ.....	79
Gambar 4. 19 Distribusi tegangan dengan energi 181,43 MJ	79
Gambar 4. 20 Model impak energi 261,21 MJ.....	80
Gambar 4. 21 Distribusi tegangan dengan energi 261,21 MJ	80
Gambar 4. 22 Model impak energi 355,61 MJ.....	81
Gambar 4. 23 Distribusi tegangan dengan energi 355,61MJ	81
Gambar 4. 24 Model impak energi 464,65 MJ.....	82
Gambar 4. 25 Distribusi tegangan dengan energi 464,65MJ	82
Gambar 4. 26 Model impak energi 587,71 MJ.....	83
Gambar 4. 27 Distribusi tegangan dengan energi 587,71 MJ	83
Gambar 4. 28 Model impak energi 725,89 MJ.....	84
Gambar 4. 29 Distribusi tegangan dengan energi 725,89 MJ	84
Gambar 4. 30 Perbandingan <i>denting</i> dari simulasi dan kalkulasi	85
 Gambar I. 1 <i>Fault Tree Analysis Modelling I</i>	92
Gambar I. 2 <i>Fault Tree Analysis Modelling II</i>	93
Gambar I. 3 <i>Fault Tree Analysis Modelling III</i>	94
Gambar I. 4 <i>Fault Tree Analysis Modelling IV</i>	95
Gambar I. 5 Faktor Penyebab Tubrukan	96
 Gambar II. 1 Pembuatan Struktur Kapal di SolidWork	98
Gambar II. 2 Pembuatan <i>Colliding Object</i> di SolidWork	98
Gambar II. 3 <i>Import Colliding Object</i>	99
Gambar II. 4 <i>Import</i> Struktur Kapal	99
Gambar II. 5 <i>Input Variabel Modelling</i>	100

Gambar II. 6 Hasil <i>Modelling</i> V=50.....	100
Gambar II. 7 Model Impak Energi V=50	101
Gambar II. 8 <i>Stress Distribution</i> V=50	101
Gambar II. 9 Hasil <i>Modelling</i> V=60.....	102
Gambar II. 10 Model Impak Energi V=60	102
Gambar II. 11 <i>Stress Distribution</i> V=60	103
Gambar II. 12 Hasil <i>Modelling</i> V=70.....	103
Gambar II. 13 Model Impak Energi V=70	104
Gambar II. 14 <i>Stress Distribution</i> V=70	104
Gambar II. 15 Hasil <i>Modelling</i> V=80.....	105
Gambar II. 16 Model Impak Energi V=80	105
Gambar II. 17 <i>Stress Distribution</i> V=80	106
Gambar II. 18 Hasil <i>Modelling</i> V=90.....	106
Gambar II. 19 Model Impak Energi V=90	107
Gambar II. 20 <i>Stress Distribution</i> V=90	107
Gambar II. 21 Hasil <i>Modelling</i> V=100.....	108
Gambar II. 22 Model Impak Energi V=100	108
Gambar II. 23 <i>Stress Distribution</i> V=100	109

BAB I

PENDAHULUAN

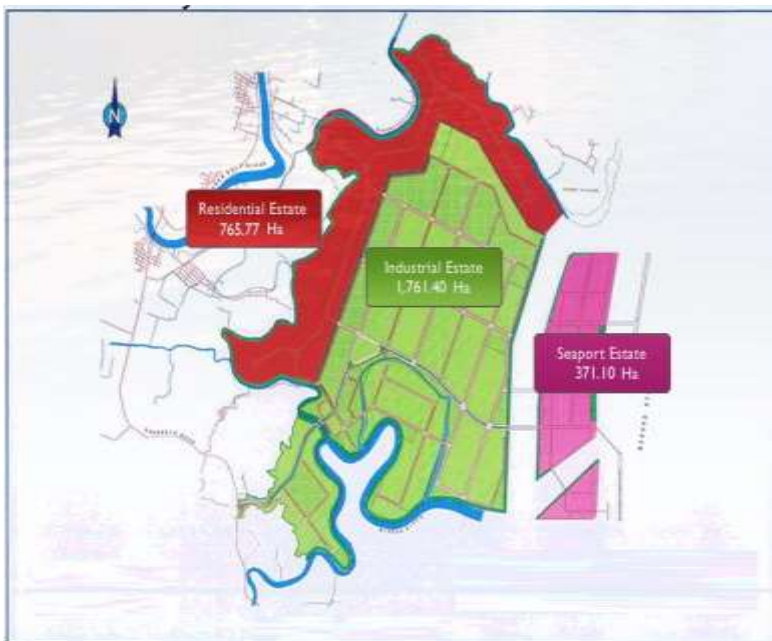
1.1. Latar Belakang

Transportasi laut merupakan salah satu jaringan moda transportasi terpenting yang ada di Indonesia sebagai negara maritim. Transportasi laut berguna untuk memindahkan manusia ataupun barang dari satu tempat ke tempat lain melalui jalur laut. Indonesia sebagai negara maritim hanya mampu didukung transportasi laut dan transportasi udara untuk mendukung kegiatan perekonomiannya. Namun dikarenakan transportasi udara membutuhkan banyak biaya untuk pengoperasiannya maka transportasi laut merupakan moda transportasi sangat unggul untuk memindah barang dari satu tempat ke tempat lain. Selain itu transportasi laut mempunyai keunggulan dalam hal kapasitas dan jangkauan. Kapal laut mampu mengangkut barang dalam jumlah yang sangat besar dan mampu mentransfer hingga jarak yang jauh, sehingga dari segi efektifitas dan ekonomi transportasi laut merupakan moda transportasi terunggul dibandingkan moda transportasi lain.

Sebagian besar dari usaha transportasi laut menggunakan kapal sebagai media distribusi dan transportasinya. Untuk tetap menjaga atau meningkatkan hasil pelayanan nantinya, tentu hal yang berkaitan tentang analisis risiko, rute pelayaran, design dan pemeliharaan atau *maintenance* untuk setiap bagian tersebut perlu dipertimbangkan dengan serius. Agar setiap kegiatan yang berkaitan operasi dan distribusi bisa tetap berjalan dengan maksimal, maka diperlukan pertimbangan yang tepat serta dilakukan *risk assessment* dan mitigasi yang tepat pula.

Pelabuhan Tanjung Perak, Pelabuhan Gresik dan Pelabuhan Teluk Lamong, Jawa Timur, memiliki peranan yang besar dalam aktivitas ekspor impor dan perdagangan nasional jalur laut. Dengan kondisi tersebut, menyebabkan padatnya arus lalu lintas kapal di Alur Pelayaran Barat Surabaya (APBS). Wilayah APBS ini bisa dikatakan tidak layak karena sempitnya

alur yang hanya memiliki lebar 100 meter dan kedalaman 9,5 LWS (*Low Water Spring*) serta daya dukung alur yang 27.000 kapal per tahun. Padahal pada tahun 2010 saja jumlah kapal yang beroperasi adalah lebih dari 20.000 kapal per tahun atau tidak kurang dari 55 kapal per hari. Hal ini mengakibatkan seringnya terjadi tubrukan kapal di perairan Selat Madura. Dan penilaian risiko terhadap *ship collision* merupakan hal yang sangat penting bagi kapal-kapal yang melewati alur sempit, dangkal, dan padat. (Xiaobo, 2010)



Gambar 1. 1 Java Integrated Industrial and Port Estate
(Sumber : <http://www.jiipe.com/projects3>)



Gambar 1. 2 Peta Rencana Induk Pelabuhan Jetty PT. BMS
(Sumber : <http://www.jiipe.com/projects3>)

Untuk lebih mengembangkan perekonomian serta mempercepat distribusi barang, PT Pelindo III ingin mengembangkan suatu daerah baru yang bernama JIPE dengan mengacu pada Gambar 1.1 dan Gambar 1.2 . Dimana *Java Integrated Industrial and Port Estate* (JIPE) adalah proyek yang mengintegrasikan pelabuhan dalam kawasan industri dan kawasan perumahan dalam satu daerah. *Estate* terpadu industri dan pelabuhan ini secara bersama-sama dikembangkan oleh PT Usaha Era Pratama Nusantara, anak perusahaan dari PT AKR Corporindo Tbk, dan PT Berlian Jasa Terminal Indonesia, anak perusahaan PT Pelabuhan Indonesia III (Persero). JIPE berlokasi di Gresik - Jawa Timur, 24 km dari Surabaya ibukota Jawa Timur, dimana investasi ekonomi tumbuh sangat pesat dan kondusif. Terletak hanya 55 km dari Bandara Internasional Juanda, JIPE memiliki akses mudah ke semua pasar internasional utama. Daerah ini juga memiliki akses langsung ke jalan tol terhubung ke Surabaya dan kota-kota besar di Jawa Timur.

(Sumber : PT. BMS)

Dengan total luas 2.898 Ha, JIPE akan berfungsi sebagai zona industri besar yang terintegrasi dengan pelabuhan laut dalam, sepenuhnya didukung dengan infrastruktur yang memadai. Luasan untuk daerah industri sebesar 1.761 Ha, luasan untuk daerah perumahan sebesar 766 Ha, dan luasan untuk daerah pelabuhan sebesar 371 Ha yang dapat dijelaskan pada Tabel 1.1. Dimana untuk kawasan pelabuhan tersebut akan dikelola oleh PT. Berlian Manyar Sejahtera.

Tabel 1. 1 Fasilitas Pengembangan JIPE

No.	<i>Project Estate</i>	Area
1.	Daerah Pelabuhan	371 Ha
2.	Daerah Industri	1.761 Ha
3.	Daerah Perumahan	766 Ha

(Sumber : PT. BMS)

Berdasarkan Gambar 1.3, pembangunan proyek dari JIPE akan dibagi menjadi tiga tahap pembangunan. Tahap pertama akan dilakukan reklamasi tahap awal, pembangunan *Jetty* 1 yang terhubung dengan *Trestle* 1, pembangunan *Jetty* 2 yang terhubung dengan *Trestle* 2. Pada Gambar 3 bisa dilihat tahap pembangunan pertama adalah yang berwarna merah. Tahap kedua akan dilakukan reklamasi tahap kedua, pembangunan *Jetty* 3 yang terhubung dengan *Trestle* 3 dan pelebaran *Jetty* 1 dan *Jetty* 2. Pada Gambar 3 bisa dilihat tahap pembangunan yang kedua merupakan yang berwarna kuning. Dan tahap yang terakhir adalah pembangunan pelaksanaan reklamasi tahap akhir dan pelebaran *Jetty* 3. Pada Gambar 3 bisa dilihat tahap pembangunan akhir merupakan yang berwarna biru.



Gambar 1. 4 Lokasi *Bouy No. 15*

Berdasarkan Gambar 1.4 *Bouy No. 15* yang terletak di daerah Manyar, Gresik merupakan salah satu alat bantu navigasi pelayaran yang berada dibawah naungan Kementerian Perhubungan Direktorat Jenderal Perhubungan Laut, Distrik Navigasi Kelas I Surabaya dimana ada banyak *bouy* yang berada dibawah pengawasannya. *Bouy No. 15* adalah *bouy* yang

berwarna hijau dimana kapal yang akan masuk ke APBS harus berada disebelah kiri dari *bouy*, sedangkan apabila kapal akan keluar dari APBS kapal harus berada disebelah kanan dari *bouy* tersebut.

Dalam kasus ini, akan dianalisis keselamatan pelayaran pada *Jetty* dari PT.BMS yang berada di dekat *Bouy* No. 15 APBS terhadap *head on collision*, *drifting collision*, *crossing collision*, dan *overtaking collision*. Analisis dilakukan karena *Jetty* milik PT.Berlian Manyar Sejahtera berada sangat dekat dengan *Bouy* No. 15 dan alur pelayaran yang berjarak sekitar 300 m sehingga penilaian risiko harus dilakukan karena konsekuensi dari kejadian *collision* akan menimbulkan bahaya dari segi manusia, lingkungan, dan operasional. Kajian keselamatan ini akan dibandingkan, ketika lebar alur pelayaran pada kondisi saat ini dengan kondisi ke depan ketika pelebaran Alur Pelayaran Barat Surabaya sudah selesai. Ketika pengerjaan proyek pelebaran APBS sudah selesai pasti akan banyak kapal yang berlayar di alur pelayaran tersebut dan akan dimungkinkan akan menambah kemungkinan terjadi tubrukan. Pada skripsi ini akan dikaji seberapa batas aman jumlah kapal yang diperbolehkan berlayar pada kondisi sekarang dan akan datang.

Penilaian risiko ini akan difokuskan pada jalur pelayaran yang melintasi daerah *Bouy* No. 15 karena memiliki potensi bahaya yang besar akibat *head on collision*, *drifting collision*, *crossing collision*, dan *overtaking collision* dengan memanfaatkan *software* SolidWork dan metode *Finite Element Analysis* untuk menganalisis konsekuensi. Dari simulasi yang dilakukan dengan *software* tersebut akan mendapatkan output berupa analisis tegangan dan *finite element analysis* pada jaringan struktur kapal. Apabila risiko yang terjadi berada dalam kriteria yang tidak dapat ditolerir, maka perlu dilakukan mitigasi untuk menurunkan risiko ke tingkatan frekuensi menuju tingkatan yang dapat diterima.

1.2. Perumusan Masalah

Rumusan masalah yang terjadi pada jalur pelayaran *Bouy No. 15* adalah :

1. Bagaimana mengidentifikasi bahaya yang berpotensi terjadi pada alur pelayaran *Bouy No. 15*?
2. Bagaimana analisis frekuensi akibat bahaya sesuai dengan standar yang berlaku?
3. Bagaimana analisis konsekuensi akibat bahaya sesuai dengan standar yang berlaku?
4. Bagaimana hasil pemodelan konsekuensi dengan menggunakan *software SolidWork* dan metode *Finite Element Analysis*?
5. Bagaimana rekomendasi mitigasi apabila risiko berada dalam level yang tidak dapat diterima?

1.3. Batasan Masalah

Batasan masalah dalam rumusan permasalahan diatas diperlukan untuk memfokuskan bahasan dalam skripsi ini. Batasan masalah yang akan dibahas sebagai berikut :

1. Objek penelitian adalah Alur Pelayaran Barat Surabaya pada *Bouy No. 15*.
2. Untuk simulasi konsekuensi dilakukan dengan menggunakan *software SolidWork* dan metode *Finite Element Analysis*.

1.4. Tujuan Skripsi

Tujuan yang ingin dicapai dari skripsi ini adalah:

1. Mengidentifikasi bahaya yang berpotensi terjadi pada Alur Pelayaran Barat Surabaya di sekitar *Bouy No. 15*.
2. Menentukan level risiko Alur Pelayaran Barat Surabaya terhadap aktivitas transportasi laut di sekitar *Bouy No. 15*.
3. Mendapatkan batas maksimum jumlah kapal yang diperbolehkan berlayar di Alur Pelayaran Barat Surabaya khususnya di sekitar *Bouy No. 15* setiap tahunnya.

4. Melakukan pemodelan dan simulasi terhadap *impact analysis* dan *energy distribution analysis* dengan menggunakan SolidWork dan metode *Finite Element Analysis*.
5. Merekomendasi mitigasi yang akan dilakukan apabila risiko berada pada level yang tidak dapat diterima.

1.5. Manfaat

Dari skripsi ini diharapkan akan memberikan manfaat bagi berbagai pihak yang membutuhkan, manfaat yang akan diperoleh antara lain:

1. Mengetahui peta risiko Alur Pelayaran Barat Surabaya pada *Bouy* No. 15.
2. Untuk instansi pemerintahan dapat dijadikan sebagai bahan pertimbangan dalam menentukan kebijakan terkait identifikasi bahaya yang mungkin terjadi di alur pelayaran.
3. Merekomendasikan mitigasi dengan mengontrol frekuensi dan konsekuensi.
4. Bisa menjadi media pembelajaran bagi pembaca terkait mengenai penilaian risiko terhadap *collision*.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Penilaian Risiko (*Risk Assessment*)

Penilaian risiko adalah sebuah metode yang digunakan untuk menilai tingkat bahaya dan risikonya yang mungkin terjadi dari suatu objek. Dalam setiap proses FEED (*Front End Engineering Design*) sampai operasional, penilaian risiko biasa dilakukan untuk mengetahui kemungkinan risiko yang terjadi di setiap kejadian. Tahapan dari proses penilaian risiko adalah mengidentifikasi bahaya dari setiap kemungkinan yang akan berdampak pada lingkungan, keselamatan, keamanan manusia, proses bongkar muat. Setelah identifikasi bahaya, maka yang akan dianalisis adalah seberapa sering atau frekuensi bahaya tersebut kemungkinan terjadi. Hal berikutnya yang dilakukan adalah analisis konsekuensi yang bisa terjadi dari setiap bahaya. Hasil akhir dari penilaian risiko adalah evaluasi risiko.

2.1.1. Hazard Identification

Identifikasi bahaya adalah tahap yang sangat penting dalam penilaian risiko. Hal ini terkait dengan hubungannya dengan analisis konsekuensi yang akan dilakukan. Identifikasi bahaya ini harus dilakukan dengan mempertimbangkan semua kemungkinan kejadian yang bisa menimbulkan kerugian.

2.1.2. Analisis Frekuensi

Penilaian terhadap frekuensi adalah proses perhitungan berdasarkan data dari lapangan tentang kejadian, data lalu lintas kapal, data spesifikasi, jenis dan tipe kapal. Selain data yang dimiliki, penilaian frekuensi juga bisa dilakukan dengan observasi secara langsung dan perkiraan atau prediksi dengan berdasar data. Penilaian frekuensi ini menggunakan fungsi waktu.

2.1.3. Analisis Konsekuensi

Konsekuensi dari setiap bahaya berdasarkan identifikasi bahaya sangat penting dalam penilaian risiko. Penilaian konsekuensi sangat erat kaitannya dengan dampak yang diakibatkan dari potensi bahaya. Seperti korban jiwa, kebakaran, kerusakan lingkungan, dampak pada material dan biaya yang dikeluarkan.

2.1.4. Analisis Frekuensi *Ship-Jetty Head on Collision*

Head on collision merupakan keadaan dimana kapal langsung menabrak objek yang berada didepannya dengan kecepatan yang relatif tinggi. *Head on collision* dapat terjadi karena *Bouy* No. 15 sebagai Sarana Bantu Navigasi Pelayaran (SBNP) berdekatan dengan *jetty* yang akan dibangun oleh pihak PT. BMS sehingga ketika terjadi sedikit penyimpangan alur pelayaran maka akan dikhawatirkan akan terjadi tubrukan. Peluang terjadinya *head on collision* merupakan kombinasi dari peluang ketika kapal mengalami penyimpangan dari perencanaan alur pelayaran yang telah ditentukan dengan kegagalan penglihatan orang yang berada di kapal untuk dapat mengawasi pelayaran dan pada akhirnya kapal menabrak *jetty* sebagaimana dijelaskan pada persamaan (1).

$$F_{CP} = N \times F_d \times P_1 \times P_2 \quad (1)$$

dimana :

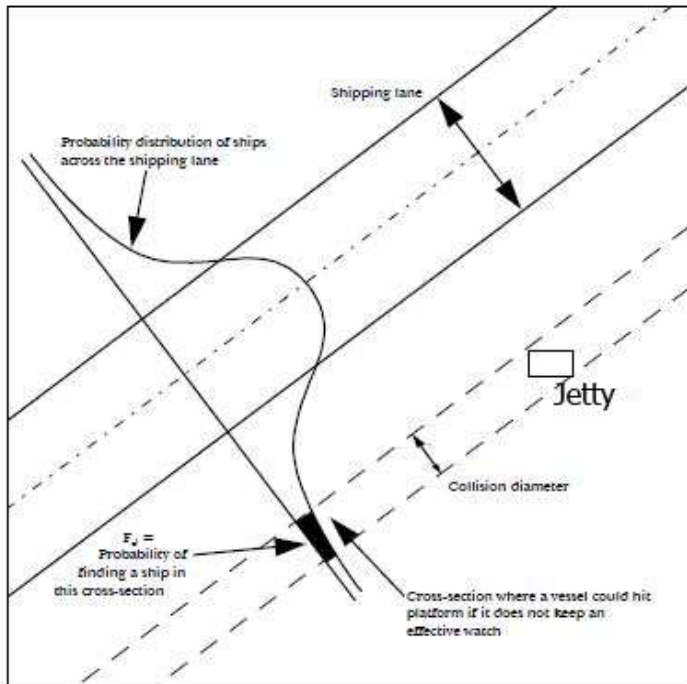
F_{CP} = frekuensi *head on collision*

N = jumlah kapal yang berlayar di sekitar *Bouy* No. 15 setiap tahunnya

F_d = kemungkinan kapal berada di daerah *cross-section* dari *jetty*

P_1 = kemungkinan kapal mengalami penyimpangan alur pelayaran

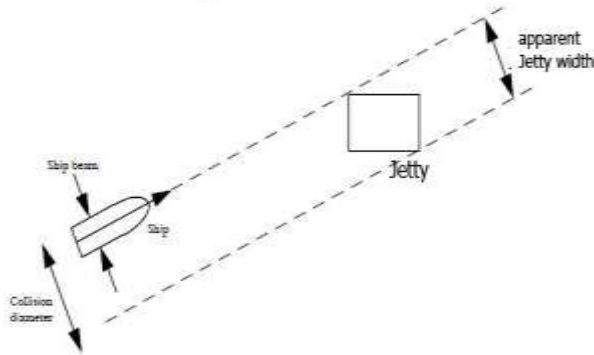
P_2 = kemungkinan orang kapal mengalami kegagalan pengawasan



Gambar 2. 1 Head on Collision

(Sumber : Spouge, 1999)

Collision diameter merupakan daerah kritis kapal menabrak jetty dimana lebar kapal ditambah daerah terpampang dari jetty dimana terpampang pada Gambar 2.2.



Gambar 2. 2 *Collision Diameter*

(Sumber : Spouge, 1999)

2.1.5. Analisis Frekuensi *Ship-Jetty Drifting Collision*

Drifting collision merupakan keadaan dimana kapal terseret arus lalu menabrak objek atau benda yang berada di sekitarnya. *Drifting collision* terjadi karena semua kapal yang akan masuk maupun keluar Alur Pelayaran Barat Surabaya dimungkinkan akan mengalami kegagalan pada sistem penggerakannya. Pada kondisi saat itu, kapal akan terombang-ambing oleh arus dan arah angin. Ketika arus dan angin mengarah pada *jetty* milik PT. BMS maka kapal akan terseret dan dimungkinkan akan terjadi tubrukan dengan *jetty* tersebut. Kebanyakan kejadian dari *drifting collision* ini diawali dari kegagalan *engine* untuk beroperasi sehingga *engine shutdown* dan kapal terbawa arus sampai menabrak objek yang ditabrak sebagaimana sesuai dengan persamaan (2).

$$F_{CD} = N_b \times P_b \times P_w \times D/BL \quad (2)$$

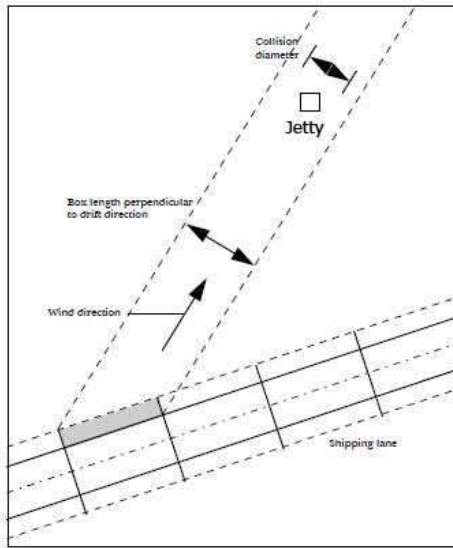
dimana :

F_{CD} = Frekuensi *drifting collision*

N_b = jumlah kapal yang berlayar di sekitar *bouy* no.15 setiap tahunnya

P_b = kemungkinan *engine breakdown*

P_w = kemungkinan arah angin berarah ke *jetty*



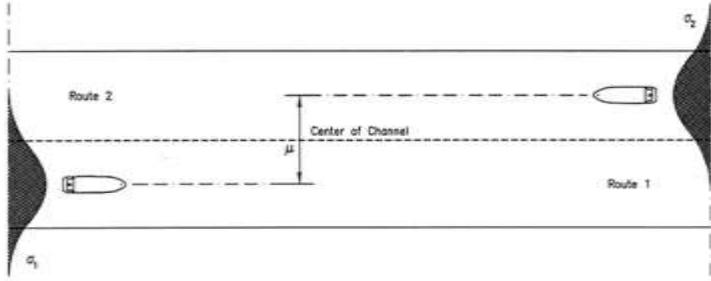
Gambar 2. 3 Drifting Collision

(Sumber : Spouge, 1999)

2.1.6. Analisis Frekuensi *Ship-Ship Head on Collision*

Head on collision merupakan keadaan dimana kapal langsung menabrak objek yang berada didepannya dengan kecepatan yang relatif tinggi. *Head on collision* dimungkinkan bisa terjadi karena sempitnya Alur Pelayaran Barat Surabaya yang hanya berkisar 100m pada kondisi sekarang sehingga ketika terjadi sedikit penyimpangan alur pelayaran maka akan dikhawatirkan akan terjadi tubrukan. Peluang terjadinya head on collision merupakan kombinasi dari peluang ketika kapal mengalami penyimpangan dari perencanaan alur pelayaran yang telah ditentukan dengan

kegagalan penglihatan orang yang berada di kapal untuk dapat mengawasi pelayaran dan pada akhirnya terjadi tubrukan kapal sesuai dengan persamaan (3) dan persamaan (4).



Gambar 2. 4 *Head on Collision*

(Sumber : Hansen, 2008)

$$\lambda_{col} = N_G \cdot P_c \quad (3)$$

dimana:

N_G = jumlah *head on collision candidate*

P_c = faktor penyebab terjadinya tubrukan

$$N_G^{head-on} = L_w \sum_{i,j} P_{G\ i,j}^{head-on} \frac{V_{ij}}{(V_i)(V_j)} (Q_i Q_j) \quad (4)$$

dimana:

N_G = jumlah *collision candidate*

L_w = panjang alur yang dijadikan kajian

P_G = peluang terjadi tubrukan disetiap pertemuan

V_i = kecepatan kapal di jalur i

V_j = kecepatan kapal jalur j

V_{ij} = kecepatan relatif kedua kapal

Q_i = frekuensi kapal di jalur i setiap tahun

Q_j = frekuensi kapal di jalur j setiap tahun

$$P_{G\ i,j}^{head-on} = \phi\left(\frac{\overline{B_{ij}} - \mu_{ij}}{\sigma_{ij}}\right) - \phi\left(-\frac{\overline{B_{ij}} + \mu_{ij}}{\sigma_{ij}}\right) \quad (5)$$

dimana:

P_G = peluang terjadi tubrukan disetiap pertemuan

ϕ = distribusi normal

B_{ij} = rata-rata lebar kapal

μ = jarak kedua kapal

σ_{ij} = standar deviasi dari *joint distribution*

2.1.7. Analisis Frekuensi Ship-Ship Overtaking Collision

Overtaking collision merupakan keadaan dimana kedua kapal yang akan bertabrakan berlayar ke arah yang sama, tubrukan ini bisa terjadi jika kapal yang satu akan mendahului kapal yang lainnya. *Overtaking collision* dimungkinkan bisa terjadi karena sempinya Alur Pelayaran Barat Surabaya yang hanya berkisar 100m pada kondisi sekarang sehingga ketika terjadi sedikit penyimpangan alur pelayaran maka akan dikhawatirkan akan terjadi tubrukan. *Overtaking collision* bisa diakibatkan kesalahan sistem navigasi yang ada di kapal, sehingga kapal yang akan menabrak gagal mendeteksi pergerakan kapal disekitarnya sesuai dengan persamaan (6) dan persamaan (7).

$$\lambda_{col} = N_G \cdot P_c \quad (6)$$

dimana:

N_G = jumlah *overtaking collision candidate*

P_c = faktor penyebab terjadinya tubrukan

$$N_G^{overtaking} = N_m \cdot Lw \cdot \frac{(B_i + B_j) \cdot (v_1 - v_2)}{(v_1 \cdot v_2) \cdot W} \quad (7)$$

dimana:

N_G = jumlah *overtaking collision candidate*

N_m = jumlah kapal yang berlayar di sekitar *bouy* no.15
setiap tahunnya

L_w = panjang alur yang dijadikan kajian

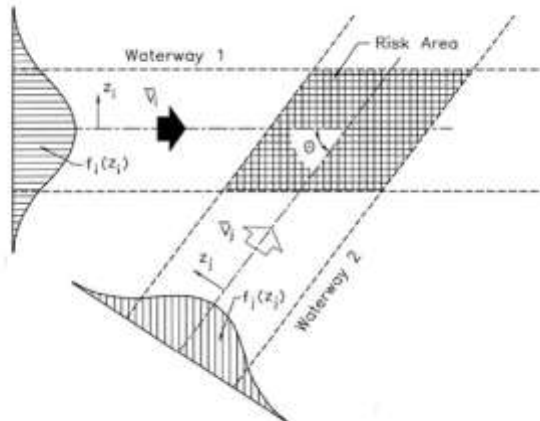
$B_{i\&j}$ = lebar kapal i & j

$V_{1\&2}$ = kecepatan kapal 1 & 2

W = lebar Alur Pelayaran Barat Surabaya

2.1.8. Analisis Frekuensi *Ship-Ship Crossing Collision*

Crossing collision merupakan keadaan dimana kedua kapal yang akan bertabrakan berlayar menuju arah yang berbeda, tubrukan ini bisa terjadi jika alur yang digunakan salah satu kapal memotong jalur kapal lainnya. *Crossing collision* dapat terjadi karena daerah kolam labuh untuk kapal yang akan melakukan bongkar muat di *jetty* PT.BMS berada disisi luar alur. *Crossing collision* diakibatkan kesalahan sistem navigasi yang ada di kapal, sehingga kapal yang akan menabrak gagal mendeteksi pergerakan kapal disekitarnya sesuai dengan persamaan (8) dan persamaan (9).



Gambar 2. 5 *Crossing Collision*

(Sumber : Hansen, 2008)

$$\lambda_{col} = N_G \cdot P_c \quad (8)$$

dimana:

N_G = jumlah *crossing collision candidate*

P_c = faktor penyebab terjadinya tubrukan

$$N_G^{crossing} = \sum_{i,j} \frac{Q_i Q_j}{(V_i)(V_j)} D_{ij} V_{ij} \frac{1}{\sin \theta} \quad (9)$$

dimana:

N_G = jumlah *crossing collision candidate*

Q_i = frekuensi kapal di jalur i setiap tahun

Q_j = frekuensi kapal di jalur j setiap tahun

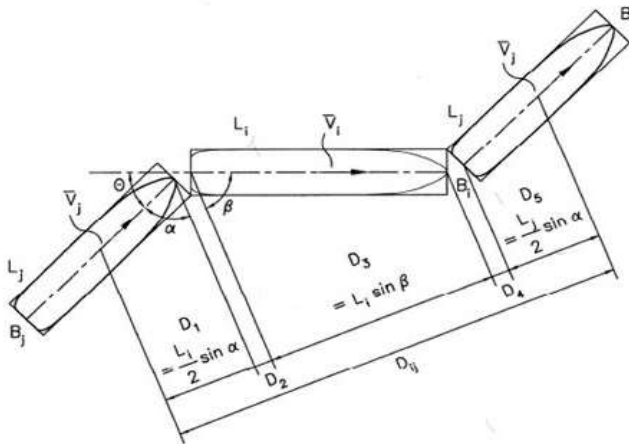
V_i = kecepatan kapal di jalur i

V_j = kecepatan kapal jalur j

D_{ij} = *crossing collision diameter*

V_{ij} = kecepatan relatif kedua kapal

θ = sudut terjadi tubrukan



Gambar 2. 6 *Crossing Collision Diameter*
(Sumber : Hansen, 2008)

$$D_{ij} = \frac{L_i V_j + L_j V_i}{V_{ij}} \sin \theta + B_j \left\{ 1 - \left(\sin \theta \frac{V_i}{V_{ij}} \right)^2 \right\}^{1/2} + B_i \left\{ 1 - \left(\sin \theta \frac{V_j}{V_{ij}} \right)^2 \right\}^{1/2} \quad (10)$$

dimana:

L_i = panjang kapal i

B_i = lebar kapal i

V_i = kecepatan kapal i

L_j = panjang kapal j

B_j = lebar kapal j

V_j = kecepatan kapal j

V_{ij} = kecepatan relatif kedua kapal

θ = sudut terjadi tubrukan

2.1.9. Analisis Konsekuensi

Analisis konsekuensi terhadap tubrukan kapal ini bertujuan untuk mengetahui berapa orang yang terkena dampak, seberapa parah properti mengalami kerusakan, wilayah terkena dampak, biaya yang dikeluarkan akibat terjadi tabrakan.

Untuk melakukan analisis konsekuensi ini harus dilakukan kajian tentang energi tubrukan yang dihasilkan oleh kapal. Besaran energi tubrukan yang dihasilkan oleh kapal ini dipengaruhi oleh energi kinetik yang dimiliki oleh kapal itu terhadap berat kapal dan kecepatan kapal pada saat menubruk objek sesuai dengan persamaan (11) dan persamaan (12).

$$Ek = \frac{1}{2} k m v^2 \quad (11)$$

dimana:

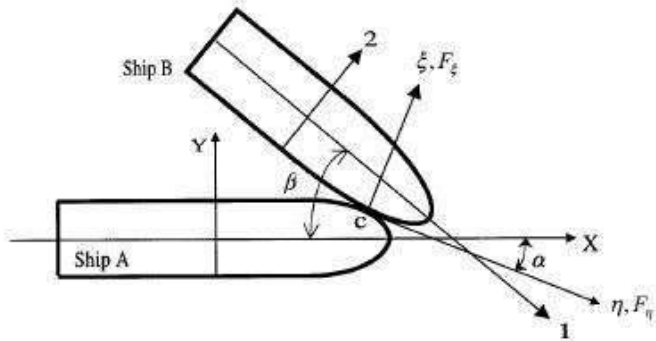
k =konstanta 1,1 untuk *head on collision*

= konstanta 1,4 untuk *drifting collision*

m = massa kapal

v = kecepatan kapal

Ukuran dari kapal dalam kasus ini biasanya direpresentasikan dalam bentuk *ship displacement*. Dimana displasmen kapal merupakan total massa dari kapal dan seluruh isinya yang mencakup berat konstruksi, berat sistem permesinan yang menunjang kapal, berat muatan, dll. Berat displasmen kapal biasanya mempunyai ukuran ton. Untuk kecepatan, dimana kapal pada saat akan menabrak objek yang ditubruk biasanya dinyatakan dalam satuan meter per detik (m/s).



Gambar 2. 7 *Ship-ship Collision*

(Sumber : Zhang,1999)

$$E = \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{D_{\varepsilon} + \mu \cdot D_{\eta}} \dot{\varepsilon}(0)^2 \quad (12)$$

dimana :

E = energi yang terserap

M_a = Massa kapal

$$\mu = \frac{D_{\varepsilon} \eta(0) - K_{\varepsilon} \varepsilon(0)(1+e)}{K_{\eta} \varepsilon(0)(1+e) - D_{\eta} \eta(0)} \quad (13)$$

$$D_{\varepsilon} = \frac{D_{a\varepsilon}}{M_a} + \frac{D_{b\varepsilon}}{M_b} \quad (14)$$

$$D_{\eta} = \frac{D_{a\eta}}{M_a} + \frac{D_{b\eta}}{M_b} \quad (15)$$

$$\varepsilon(0) = V_{ax} \sin(\alpha) + V_{ay} \cos(\alpha) + V_{b1} \sin(\beta - \alpha) - V_{b1} \cos(\beta - \alpha) \quad (16)$$

Berdasarkan persamaan (12) diatas tubrukan antara kapal dengan kapal sangat dipengaruhi oleh massa dari kapal dan kecepatan kapal pada saat akan menubruk objeknya. Semakin besar ukuran kapal dan kecepatannya semakin besar energi yang dihasilkan oleh kapal dan diserap oleh objek ditubruk. Untuk menentukan seberapa dalam penetrasi atau penyokan akibat tubrukan dapat diketahui melalui rumus berikut :

$$\frac{w}{l} = \sqrt{\frac{2xE}{R_T \sigma_o}} \quad (17)$$

dimana:

w/l = dalamnya penyokan

E = *absorbed energy*

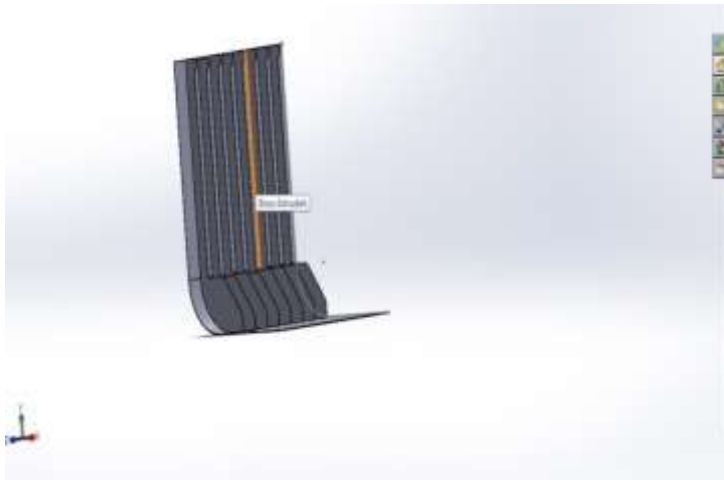
R_T = *resistance factor*

σ_o = *flow stress of material*

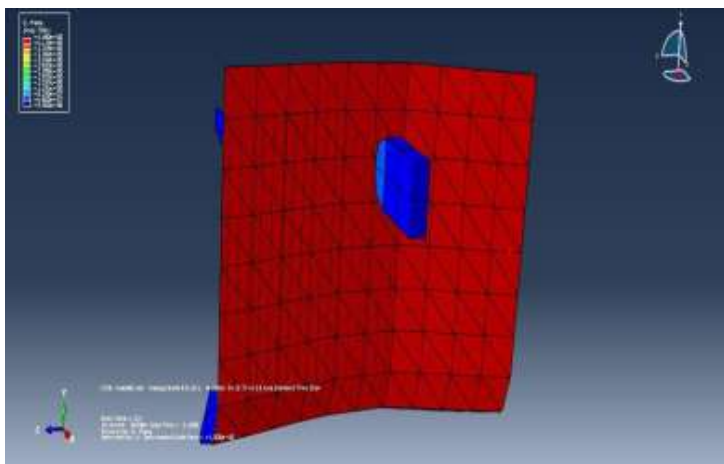
2.2. Software

Pada tugas akhir ini, pemodelan dan simulasi dilakukan dengan menggunakan *software* SolidWork untuk pembuatan bagian *modelling* dan metode *Finite Element Analysis*. *Software* ini akan dibagi sesuai keunggulan dari masing-masing yang pada akhirnya untuk menganalisis impak hasil tubrukan yang dialami oleh kapal. Impak yang dihasilkan didapatkan dari hasil analisis konsekuensi yang telah dihitung sebelumnya dan akan diverifikasi dari hasil pemodelan tersebut.

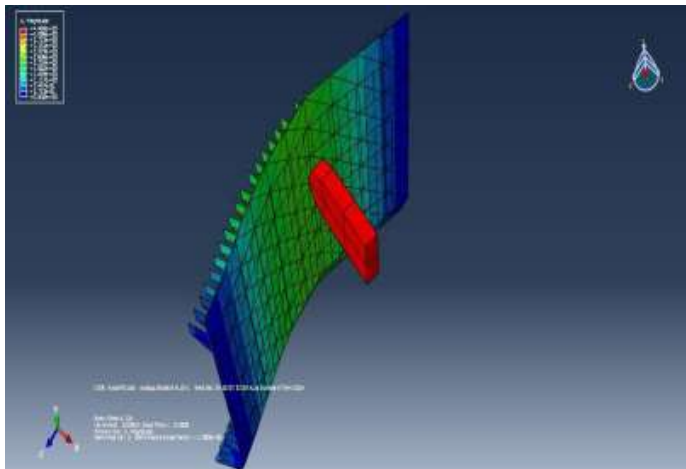
FEA adalah cara ampuh untuk melakukan analisis respon struktural dalam hal tubrukan. Banyak *software* yang tersedia untuk melakukan FEA, seperti ABAQUS. Banyak peneliti telah menggunakan pendekatan FEA untuk menganalisis masalah tabrakan (Zhang,1999). Pada simulasi yang dilakukan dengan menganalisis struktur badan kapal, akan diketahui besarnya energi yang dihasilkan dan seberapa besar dampak tubrukan terhadap struktur badan kapal.



Gambar 2. 8 Pembuatan *Part* Kapal pada SolidWork



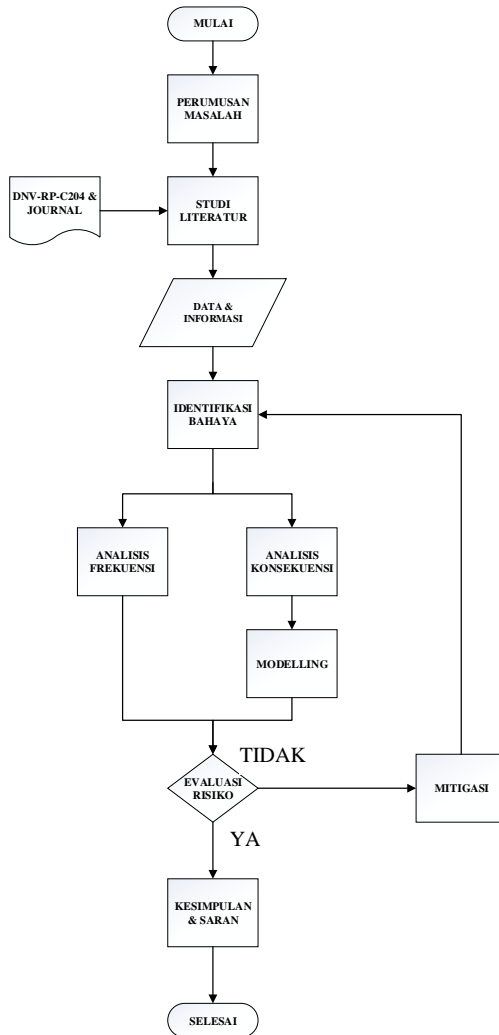
Gambar 2. 9 *Stress Analysis* pada simulasi



Gambar 2. 10 Analisis Benturan pada simulasi

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN



Gambar 3. 1 *Flowchart* Pengerjaan Skripsi

3.1. Umum

Pada bab ini akan menjelaskan langkah – langkah sistematis dalam pengerjaan penilaian keselamatan dari segi transportasi pada Alur Pelayaran Barat Surabaya. Metodologi penelitian ini merupakan kerangka dasar yang digunakan penulis sebagai acuan pengerjaan skripsi dari awal pengerjaan sampai nantinya akan mencapai tahap akhir dimana kesimpulan dan saran akan dimunculkan.

3.2. Perumusan Masalah

Rumusan masalah yang terjadi pada jalur pelayaran *Bouy* No. 15 adalah :

1. Bagaimana mengidentifikasi bahaya yang berpotensi terjadi pada alur pelayaran *Bouy* No. 15?
2. Bagaimana analisis frekuensi akibat bahaya sesuai dengan standar yang berlaku?
3. Bagaimana analisis konsekuensi akibat bahaya sesuai dengan standar yang berlaku?
4. Bagaimana hasil pemodelan konsekuen dengan menggunakan *software* SolidWork dan metode *Finite Element Analysis*?
5. Bagaimana rekomendasi mitigasi apabila risiko berada dalam level yang tidak dapat diterima?

3.3. Studi Literatur

Pada pengerjaan penilaian risiko ini, pengerjaan mengacu pada beberapa jurnal dan literatur. Jurnal dan literatur yang digunakan berada dalam lingkup analisis dan perhitungan frekuensi tubrukan kapal, analisis dan perhitungan konsekuensi tubrukan kapal, serta jurnal tentang kenavigasian dan keselamatan pelayaran.

3.4. Pengumpulan Data

Banyak data yang dibutuhkan dalam melakukan kajian keselamatan aktivitas transportasi laut terhadap tubrukan kapal

pada *Bouy* No. 15 Alur Pelayaran Barat Surabaya. Berikut adalah data– data yang dibutuhkan untuk kajian keselamatan :

1. Data jumlah kapal yang berlayar masuk maupun keluar dari Alur Pelayaran Barat Surabaya pada tahun 2008-2014 dan nantinya akan dijadikan representasi jumlah kapal kedepannya.
2. Data kapal, data kapal yang dimaksud disini adalah data displasmen kapal, dan *gross tonnage* yang akan digunakan untuk menghitung konsekuensi tubrukan kapal di setiap jetty pada saat beroperasi.
3. Data *masterplan* dan material *jetty* yang akan digunakan untuk menghitung konsekuensi akibat tubrukan.
4. Data pengembangan alur dan pembangunan proyek dermaga PT. BMS.

3.5. Deskripsi Sistem

Deskripsi sistem yang dimaksud disini adalah semua yang berhubungan dengan sistem teknis, lama durasi pembangunan, durasi pengoperasional, lingkungan, dan semua asset yang berhubungan dengan kajian keselamatan, serta kemampuan sistem untuk mentolerir *accident*.

Jetty dan Trestle yang akan dioperasikan oleh PT. Berlian Manyar Sejahtera yang akan dianalisis terbuat dari *concrete* CSP D 600mm dan CSP D 800mm, serta PCI Girder Prevention (dengan ukuran H= 1250mm dan L= 20,6m). Kajian ini akan dilakukan di Alur Pelayaran Barat Surabaya disekitar Bouy No. 15 terutama didaerah sekitar PT. Berlian Manyar Sejahtera yang sedang melakukan pembangunan *jetty extension*.

3.6. Hazard Identification

Ada beberapa kemungkinan *hazard* yang mungkin terjadi akibat adanya aktivitas transportasi laut di sekitar *jetty* yang dioperasikan oleh PT. Berlian Manyar Sejahtera seperti *head on collision* dan *drifting collision* yang mungkin akan terjadi

antara kapal dengan *jetty* maupun *collision* yang terjadi antara kapal yang berlayar disekitar Alur Pelayaran Barat Surabaya dengan kapal yang akan bersandar di *jetty* tersebut. Pada tugas skripsi ini akan dilakukan kajian *head on collision* dan *drifting collision* antara kapal dengan *jetty* dan *head on collision*, *drifting collision*, *crossing collision*, dan *overtaking collision* kapal dengan kapal yang beroperasi di sekitar daerah *Bouy* No. 15.

3.7. Penilaian Frekuensi

Penilaian terhadap frekuensi disini merupakan proses perhitungan berdasarkan data dari lapangan tentang kejadian, data lalu lintas kapal, data spesifikasi, jenis dan tipe kapal. Selain data yang dimiliki, penilaian frekuensi juga bisa dilakukan dengan observasi secara langsung dan perkiraan atau prediksi dengan berdasar data. Penilaian frekuensi ini menggunakan fungsi waktu.

Head on Collision : Keadaan dimana kapal yang akan menubruk *jetty* maupun kapal dengan kecepatan operasional dimana tidak adanya pengurangan kecepatan pada saat menubruk objek setiap tahunnya. Kajian ini bisa diterima apabila kejadian setiap tahunnya kurang dari satu, namun apabila frekuensi kejadian lebih dari yang telah ditetapkan akan dilakukan mitigasi untuk meminimalisir kejadian dari frekuensi tersebut.

Drifting Collision : Keadaan dimana kapal yang akan menubruk *jetty* maupun kapal lainnya dengan kecepatan rendah dimana sistem propulsi dari kapal akan mati terlebih dahulu lalu kapal terseret menuju *jetty* dan terjadi tubrukan setiap tahunnya. Kajian ini bisa diterima apabila kejadian setiap tahunnya kurang dari satu, namun apabila frekuensi kejadian lebih dari yang telah ditetapkan akan dilakukan mitigasi untuk meminimalisir kejadian dari frekuensi tersebut.

Overtaking Collision : Keadaan dimana kapal yang akan menubruk kapal lainnya pada saat beroperasi dan berada di jalur yang sama dimana salah satu kapal mencoba menyalip kapal lainnya hingga terjadi tubrukan. Kajian ini bisa diterima apabila kejadian setiap tahunnya kurang dari satu, namun apabila

frekuensi kejadian lebih dari yang telah ditetapkan akan dilakukan mitigasi untuk meminimalisir kejadian dari frekuensi tersebut.

Crossing Collision : Keadaan dimana kapal menubruk kapal lainnya pada saat beroperasi dimana kedua kapal tersebut menggunakan alur yang berbeda dan alur tersebut bersimpangan. Kajian ini bisa diterima apabila kejadian setiap tahunnya kurang dari satu, namun apabila frekuensi kejadian lebih dari yang telah ditetapkan akan dilakukan mitigasi untuk meminimalisir kejadian dari frekuensi tersebut.

3.8. Penilaian Konsekuensi

Berdasarkan analisis konsekuensi yang dilakukan ada beberapa kemungkinan konsekuensi yang akan terjadi apabila terjadi tubrukan, antara lain :

1. *Head on Collision* : Pada umumnya dari semua kejadian akan menimbulkan dampak kerusakan bagi kapali, namun pada ukuran kapal tertentu hanya akan menimbulkan dampak kapal penyok untuk kapal yang berukuran kecil.
2. *Drifting Collision* : Pada umumnya dari semua kejadian akan menimbulkan dampak kerusakan yang tidak begitu besar jika dibandingkan dengan dampak yang ditimbulkan dari kejadian *head on collision*. Bagi kapal maupun sendiri pastinya akan menimbulkan dampak, namun pada ukuran kapal tertentu hanya akan menimbulkan dampak kapal penyok ataupun kandas untuk kapal yang berukuran kecil, beton *jetty* akan hancur apabila ditubruk oleh kapal besar.
3. *Overtaking Collision* : Pada umumnya dari hasil dari tubrukan akan menimbulkan dampak kerusakan cukup besar, tergantung dari kecepatan kapalnya. Bagi kapal pastinya akan menimbulkan dampak, namun pada ukuran kapal tertentu hanya akan menimbulkan dampak kapal penyok ataupun kandas untuk kapal yang berukuran kecil.
4. *Crossing Collision* : Pada umumnya dari hasil dari tubrukan akan menimbulkan dampak kerusakan cukup besar, tergantung dari kecepatan kapalnya dan besarnya sudut tubrukan.

3.9. Modelling

Modelling dan simulasi akan menggunakan SolidWork dan metode *Finite Element Analysis*. SolidWork merupakan *software* yang digunakan untuk membuat desain dari berbagai macam produk dari yang sederhana hingga yang kompleks seperti pipa, bangunan, bagian-bagian mesin, dll. *Software* ini akan dibagi sesuai keunggulan dari masing-masing yang pada akhirnya untuk menganalisis kekuatan struktur badan kapal dan *jetty* akibat potensi bahaya tubrukan. Data input yang akan digunakan adalah kekuatan material dan energi dari hasil analisis konsekuensi yang telah dihitung sebelumnya.

3.10. Mitigasi

Pada tahap ini yang akan dilakukan adalah mitigasi, dimana akan dilakukan upaya untuk mengurangi jumlah tubrukan setiap tahunnya ataupun mengurangi dampak konsekuensi untuk membuat risiko dapat diterima dan untuk memastikan tidak adanya tubrukan.

3.11. Kesimpulan dan Saran

Tahap terakhir yang dilakukan ini adalah membuat kesimpulan dan saran dari semua proses yang telah dilakukan sebelumnya dan memberikan jawaban atas permasalahan yang telah ditentukan. Proses yang dilakukan selanjutnya adalah memberikan saran berdasarkan hasil analisis yang telah dikerjakan untuk dijadikan pertimbangan untuk penelitian selanjutnya, baik terkait dengan skripsi ini maupun data-data dan metodologi yang akan dijadikan referensi.

BAB IV

ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN

4.1. Pengumpulan Data Analisis Risiko Tubrukan

Pada bab ini akan membahas tentang analisis risiko tubrukan beserta pembahasannya. Data yang digunakan dalam pengerjaan skripsi ini adalah data jumlah kapal pertahun dari PT.Pelindo III dan data geografis yang didapatkan dari Distrik Navigasi Kelas I Surabaya, sementara data lingkungan akan didapatkan dari literatur-literatur yang sudah dibaca penulis. Data-data tersebut sangat berguna untuk menentukan kemungkinan terjadinya tubrukan berupa *head on collision* maupun *drifting collision* antara kapal dengan jetty maupun *head on collision*, *drifting collision*, *crossing collision*, dan *overtaking collision* antara kapal dengan kapal.

Proses ini dilakukan juga untuk mengetahui identifikasi bahaya yang mungkin terjadi disekitar daerah *Bouy* No. 15 dan dapat menyebabkan gangguan di alur pelayaran tersebut. Dalam mengidentifikasi bahaya yang terjadi banyak faktor-faktor yang mempengaruhi hasil analisis perhitungan frekuensi maupun perhitungan konsekuensinya. Faktor yang perlu dipertimbangkan adalah data pelayaran, data ukuran kapal, dan data lingkungan. Data pelayaran dibutuhkan karena banyaknya kapal akan mempengaruhi terjadinya tubrukan. Semakin banyak jumlah kapal yang berlayar di suatu daerah maka akan semakin besar pula kemungkinan tubrukan yang akan terjadi.

Data ukuran kapal akan digunakan untuk perhitungan konsekuensi. Ukuran kapal nantinya akan diklasifikasi dan dianalisis dampak yang akan ditimbulkan apabila terjadi tubrukan antara kapal dengan *jetty* ataupun kapal dengan kapal. Data lingkungan disini akan sangat mempengaruhi tingkat keberhasilan kapal untuk dapat berlayar sesuai dengan rute yang ditentukan.

4.1.1. Data Sistem

Deskripsi sistem yang dimaksud disini adalah semua yang berhubungan dengan sistem teknis, lama durasi pembangunan, durasi pengoperasional, lingkungan, dan semua asset yang berhubungan dengan kajian keselamatan, serta kemampuan sistem untuk mentolerir tubrukan.

Jetty dan *Trestle* yang akan dioperasikan oleh PT. Berlian Manyar Sejahtera yang akan dianalisis terbuat dari *concrete* CSP D 600mm dan CSP D 800mm, serta *PCI Girder Prevention* (dengan ukuran $H=1250\text{mm}$ dan $L=20,6\text{m}$). Kajian ini akan dilakukan di Alur Pelayaran Barat Surabaya disekitar Bouy No. 15 terutama didaerah sekitar PT. Berlian Manyar Sejahtera yang sedang melakukan pembangunan *jetty extension*.

4.1.2. Data Kapal

Data kapal digunakan digunakan untuk menilai frekuensi dan konsekuensi yang akan dikaji tentang kemungkinan terjadinya tubrukan. Data-data yang digunakan adalah jumlah kapal yang berlayar di APBS dari tahun 2008-2013 dan klasifikasi klasifikasi besaran kapal yang ada pada Tabel 4.1.

Data kapal tersebut selain digunakan untuk menghitung frekuensi terjadinya tubrukan, data jumlah kapal tersebut digunakan juga untuk proyeksi banyaknya kapal yang akan berlayar di APBS pada tahun-tahun yang akan datang dengan perkiraan pertumbuhan jumlah kapal yang akan memasuki daerah Alur Pelayaran Barat Surabaya sekitar 4% per tahunnya yang ada pada Tabel 4.2. Pada skripsi ini diasumsikan bahwa *jetty* yang dioperasikan oleh PT.BMS akan beroperasi hingga 15 tahun kedepan.

Tabel 4. 1 Jumlah Kapal di APBS

	Tj.Perak	Gresik	Jumlah
2008	15399 Unit	5552 Unit	20951 Unit
2009	15064 Unit	5770 Unit	20834 Unit
2010	14197 Unit	5650 Unit	19847 Unit
2011	14117 Unit	5625 Unit	19742 Unit
2012	14773 Unit	5851 Unit	20624 Unit
2013	16798 Unit	7295 Unit	24093 Unit

(Sumber : Pelindo III)

Tabel 4. 2 Prediksi Jumlah Kapal di APBS

	Tj.Perak	Gresik	Jumlah
2014	17470 Unit	7587 Unit	25057 Unit
2015	18169 Unit	7890 Unit	26059 Unit
2016	18895 Unit	8206 Unit	27101 Unit
2017	19651 Unit	8534 Unit	28185 Unit
2018	20437 Unit	8876 Unit	29313 Unit
2019	21255 Unit	9230 Unit	30485 Unit
2020	22105 Unit	9600 Unit	31705 Unit
2021	22989 Unit	9984 Unit	32973 Unit
2022	23909 Unit	10383 Unit	34292 Unit
2023	24865 Unit	10799 Unit	35664 Unit
2024	25860 Unit	11230 Unit	37090 Unit
2025	26894 Unit	11680 Unit	38574 Unit
2026	27970 Unit	12147 Unit	40117 Unit
2027	29089 Unit	12632 Unit	41721 Unit
2028	30252 Unit	13138 Unit	43390 Unit
2029	31462 Unit	13664 Unit	45126 Unit
2030	32721 Unit	14210 Unit	46931 Unit

Selain memprediksikan jumlah kapal yang akan berlayar di APBS, jumlah kapal yang akan beroperasi di *jetty* milik PT. BMS juga diasumsikan dengan cara melihat kapasitas maksimum kapal yang dapat dilayani dalam waktu tertentu dengan lamanya aktifitas bongkar muat satu kapal dan pada akhirnya akan mendapatkan jumlah kapal yang bisa dilayani dalam satu tahun seperti yang ada pada Tabel 4.3.

Tabel 4. 3 Jumlah Kapal di PT.BMS per tahunnya

	Segmen 1	Segmen 2	Jumlah
PT.BMS	1950 Unit	2318 Unit	4268 Unit

4.2. Deskripsi Pemodelan Kasus Tubrukan

Kasus yang dapat terjadi pada Bouy No. 15 terhadap tubrukan kapal dengan *jetty* yang berada dibawah naungan PT.BMS dibagi menjadi dua skenario yaitu, *head on collision* dan *drifting collision* dan tubrukan kapal dengan kapal yang beroperasi di *Jetty* milik PT.BMS yaitu, *head on collision*, *crossing collision*, dan *overtaking collision*.

Head on collision merupakan suatu tubrukan dimana kapal langsung menabrak objek (*jetty* maupun kapal) dengan keadaan sistem propulsi sedang bekerja. Kejadian tubrukan jenis tersebut bisa terjadi oleh beberapa faktor yaitu, kesalahan peralatan navigasi yang tidak bekerja dengan laik maupun kesalahan manusia-nya itu sendiri (*human error*). Dari kebanyakan kasus yang telah terjadi kebanyakan penyebab terjadinya tubrukan jenis ini disebabkan oleh human error. Human error tersebut bisa disebabkan oleh banyak hal yaitu kesalahan penglihatan, pengaruh alkohol, ketahanan fisik dari kru kapal, dan lain-lain.

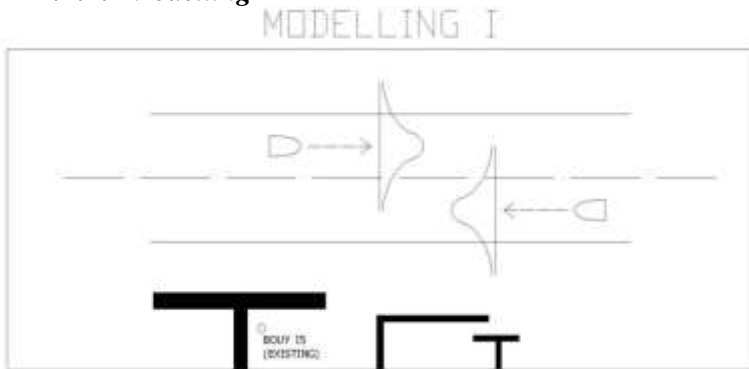
Drifting collision adalah suatu tubrukan dimana kapal akan terseret hingga menabrak objek (*jetty* maupun kapal) yang akan ditabrak. Tubrukan jenis ini biasanya terjadi ketika sistem propulsi di kapal mengalami kegagalan dan arus laut mengarahkan kapal ke arah objek disekitarnya, sehingga kapal

tersebut akan menabrak objek tersebut. Jadi, bisa dikatakan bahwa kejadian *drifting collision* ini bisa terjadi ketika dipengaruhi oleh faktor teknis dan faktor alam dimana kapal tersebut berlayar.

Crossing collision merupakan keadaan kapal menubruk kapal lainnya pada saat beroperasi, dimana kedua kapal tersebut menggunakan alur yang berbeda dan alur tersebut bersimpangan. Tubrukan ini biasa terjadi karena terdapat kegagalan dalam alat navigasi sehingga menimbulkan kegagalan pada saat berlayar.

Overtaking collision merupakan kejadian kapal yang akan menubruk kapal lainnya pada saat beroperasi dan berada di jalur yang sama dimana salah satu kapal mencoba menyalip kapal lainnya hingga terjadi tubrukan. Tubrukan ini biasa terjadi karena terdapat kegagalan dalam alat navigasi sehingga menimbulkan kegagalan pada saat berlayar.

4.2.1. *Modelling I*



Gambar 4. 1 Pemodelan Skenario Tubrukan I

Pada *Modelling I* ini kapal yang akan dianalisis adalah semua kapal yang tidak menuju ataupun keluar dari *Jetty* milik PT.BMS seperti yang ada pada Gambar 4.1. Jadi kapal-kapal tersebut merupakan kapal yang akan menuju ataupun yang keluar dari Pelabuhan Tanjung Perak,

Pelabuhan Gresik, dan Pelabuhan Teluk Lamong. Kasus *Modelling I* ini akan menganalisis hasil tubrukan pada alur *existing condition* dan *future condition*.

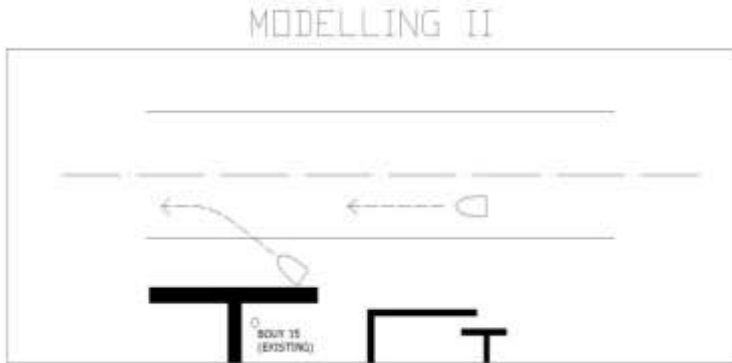
Berdasarkan analisis geometris yang dilakukan, pada *Modelling I* ini tubrukan yang akan terjadi adalah *ship - ship head on collision*. Jumlah kapal yang berlayar untuk kasus ini diperkirakan sekitar 24093 kapal/tahun (Tahun 2013). Skenario penyebab terjadinya tubrukan adalah sebagai berikut:

- Menyimpangnya jalur pelayaran kapal dari rencana pelayaran yang sudah ditetapkan.
- Kegagalan pengelihatan awak kapal dalam menjaga pergerakan kapal yang disebabkan oleh beberapa faktor.
- Kegagalan pemberian peringatan terhadap salah satu kapal untuk menghindari tubrukan.

Berikut adalah urutan terjadinya *ship - ship head on collision* :

1. Kandidat tubrukan merupakan kapal yang akan menuju ataupun yang keluar dari Pelabuhan Tanjung Perak, Pelabuhan Gresik, dan Pelabuhan Teluk Lamong.
2. Menyimpangnya jalur pelayaran kapal dari rencana pelayaran yang sudah ditetapkan oleh awak kapal.
3. Terjadi kesalahan pengelihatan dalam menjaga pergerakan kapal dan kegagalan pengelihatan terhadap kapal yang berada didepannya.
4. Terjadi kegagalan pemberian peringatan terhadap salah satu kapal untuk menghindari tubrukan.
5. Kemungkinan terjadinya *ship - ship head on collision* karena kesalahan penentuan jalur pelayaran kapal, kegagalan pengelihatan awak kapal, dan kegagalan pemberian peringatan untuk mengantisipasi terjadinya tubrukan

4.2.2. *Modelling II*



Gambar 4. 2 Pemodelan Skenario Tubrukan II

Pada *Modelling II* ini kapal yang akan dianalisis adalah semua kapal yang telah menyelesaikan proses bongkar muat di *Jetty* milik PT. BMS dengan kapal yang keluar dari Pelabuhan Tanjung Perak, Pelabuhan Gresik, dan Pelabuhan Teluk Lamong seperti yang ada pada Gambar 4.2. Kasus *Modelling II* ini juga akan menganalisis hasil tubrukan pada alur *existing condition* dan *future condition*.

Berdasarkan analisis geometris yang dilakukan, pada *Modelling II* ini tubrukan yang akan terjadi adalah *ship - ship overtaking collision*. Jumlah kapal yang berlayar untuk kasus ini diperkirakan sekitar 25045 kapal/tahun (Tahun 2018) untuk kapal yang akan keluar dari Pelabuhan Tanjung Perak, Pelabuhan Gresik, dan Pelabuhan Teluk Lamong, sekitar 1950 kapal/tahun (Tahun 2018) untuk kapal yang beroperasi di Segmen 1 PT.BMS, dan sekitar 2318 kapal/tahun (Tahun 2018) untuk kapal yang beroperasi di Segmen 2 PT.BMS . Skenario penyebab terjadinya tubrukan adalah sebagai berikut:

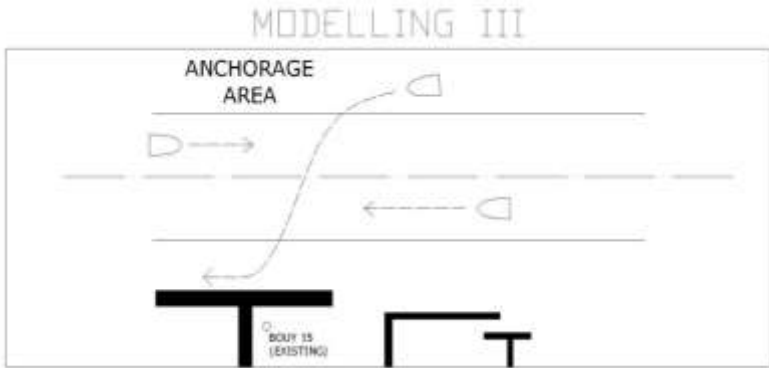
- Kegagalan sistem navigasi di kapal yang menyebabkan kapal salah memprediksi pergerakan kapal lain disekitarnya.

- Kesalahan pandu yang gagal memberikan perintah yang baik pada saat kapal akan keluar dari Jetty milik PT.BMS.
- Kegagalan pemberian peringatan terhadap salah satu kapal untuk menghindari tubrukan

Berikut adalah urutan terjadinya *ship - ship overtaking collision* :

1. Kandidat tubrukan merupakan kapal yang telah menyelesaikan proses bongkar muat di *Jetty* milik PT.BMS dengan kapal yang keluar dari Pelabuhan Tanjung Perak, Pelabuhan Gresik, dan Pelabuhan Teluk Lamong.
2. Sistem navigasi di kapal yang telah akan keluar dari *Jetty* milik PT.BMS mengalami kegagalan sehingga salah memprediksi pergerakan kapal lain yang berada di sekitarnya.
3. Pandu gagal memberikan perintah yang baik sehingga kapal yang keluar dari *Jetty* milik PT.BMS akan mungkin menubruk kapal yang berada di sekitarnya
4. Terjadi kegagalan pemberian peringatan terhadap salah satu kapal untuk menghindari tubrukan.
5. Kemungkinan terjadinya *ship - ship overtaking collision* karena kegagalan alat navigasi yang ada di kapal, kesalahan pandu, dan kegagalan memberikan peringatan untuk mengantisipasi terjadinya tubrukan pada saat kapal yang telah menyelesaikan proses bongkar muat akan keluar dari *jetty* milik PT.BMS.

4.2.3. *Modelling III*



Gambar 4. 3 Pemodelan Skenario Tubrukan III

Pada *Modelling III* ini kapal yang akan dianalisis adalah semua kapal yang akan melakukan proses bongkar muat di jetty milik PT. BMS dengan kapal yang masuk atau keluar dari Pelabuhan Tanjung Perak, Pelabuhan Gresik, dan Pelabuhan Teluk Lamong seperti yang ada pada Gambar 4.3. Kasus *Modelling III* ini tidak akan menganalisis hasil tubrukan pada alur *existing condition* dan *future condition* namun akan menganalisis berdasarkan sudut kemungkinan terjadinya tubrukan.

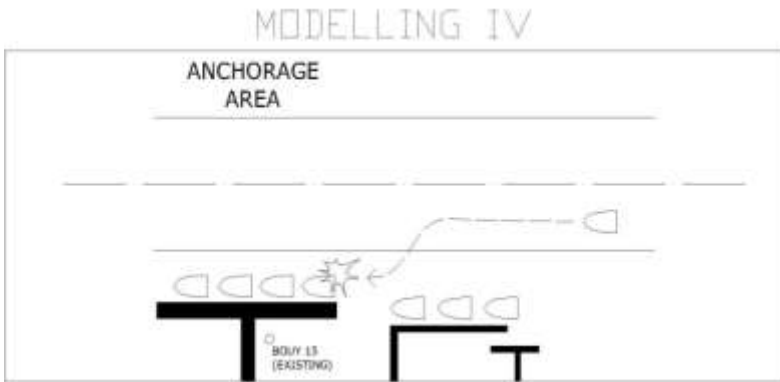
Berdasarkan analisis geometris yang dilakukan, pada *Modelling III* ini tubrukan yang akan terjadi adalah *ship - ship crossing collision*. Jumlah kapal yang berlayar untuk kasus ini diperkirakan sekitar 25045 kapal/tahun (Tahun 2018) untuk kapal yang akan keluar dari Pelabuhan Tanjung Perak, Pelabuhan Gresik, dan Pelabuhan Teluk Lamong, sekitar 1950 kapal/tahun (Tahun 2018) untuk kapal yang beroperasi di Segmen 1 PT.BMS, dan sekitar 2318 kapal/tahun (Tahun 2018) untuk kapal yang beroperasi di Segmen 2 PT.BMS . Skenario penyebab terjadinya tubrukan adalah sebagai berikut:

- Kegagalan sistem navigasi di kapal yang menyebabkan kapal salah memprediksi pergerakan kapal lain disekitarnya.
- Kesalahan pandu yang gagal memberikan perintah yang baik pada saat kapal akan keluar dari *Jetty* milik PT.BMS.
- Kegagalan pemberian peringatan terhadap salah satu kapal untuk menghindari tubrukan

Berikut adalah urutan terjadinya *ship - ship crossing collision* :

1. Kandidat tubrukan merupakan kapal yang akan melakukan proses bongkar muat di *Jetty* milik PT.BMS dengan kapal yang masuk atau keluar dari Pelabuhan Tanjung Perak, Pelabuhan Gresik, dan Pelabuhan Teluk Lamong.
2. Sistem navigasi di kapal yang telah akan melakukan proses bongkar muat di *Jetty* milik PT.BMS mengalami kegagalan sehingga salah memprediksi pergerakan kapal lain yang berada di sekitarnya.
3. Pandu gagal memberikan perintah yang baik sehingga kapal akan melakukan proses bongkar muat dari *Jetty* milik PT.BMS akan mungkin menubruk kapal yang berada di sekitarnya.
4. Terjadi kegagalan pemberian peringatan terhadap salah satu kapal untuk menghindari tubrukan.
5. Kemungkinan terjadinya *ship-ship crossing collision* karena kegagalan alat navigasi yang ada di kapal, kesalahan pandu, dan kegagalan pemberian peringatan untuk mengantisipasi terjadinya tubrukan pada saat kapal yang akan melakukan proses bongkar muat masuk ke *Jetty* milik PT.BMS.

4.2.4. *Modelling IV*



Gambar 4. 4 Pemodelan Skenario Tubrukan IV

Pada *Modelling IV* ini kapal yang akan dianalisis adalah semua kapal yang sedang melakukan proses bongkar muat di *Jetty* milik PT.BMS dengan kapal yang masuk atau keluar dari Pelabuhan Tanjung Perak, Pelabuhan Gresik, dan Pelabuhan Teluk Lamong seperti yang ada pada Gambar 4.4. Kasus *Modelling IV* ini tidak akan menganalisis hasil tubrukan pada alur *existing condition* dan *future condition*.

Berdasarkan analisis geometris yang dilakukan, pada *Modelling IV* ini tubrukan yang akan terjadi adalah *ship - ship drifting collision*. Jumlah kapal yang berlayar untuk kasus ini diperkirakan sekitar 25045 kapal/tahun (Tahun 2018) untuk kapal yang akan keluar dari Pelabuhan Tanjung Perak, Pelabuhan Gresik, dan Pelabuhan Teluk Lamong, sekitar 1950 kapal/tahun (Tahun 2018) untuk kapal yang beroperasi di Segmen 1 PT.BMS, dan sekitar 2318 kapal/tahun (Tahun 2018) untuk kapal yang beroperasi di Segmen 2 PT.BMS . Skenario penyebab terjadinya tubrukan adalah sebagai berikut:

- Kegagalan sistem propulsi di kapal yang menyebabkan *engine breakdown* di daerah sekitar *Jetty* milik PT.BMS.

- Angin dan arus mengarah ke arah *Jetty* sehingga kapal akan terseret menuju *Jetty* dan akan menubruk kapal yang sedang melakukan proses bongkar muat.

Berikut adalah urutan terjadinya *ship - ship drifting collision* :

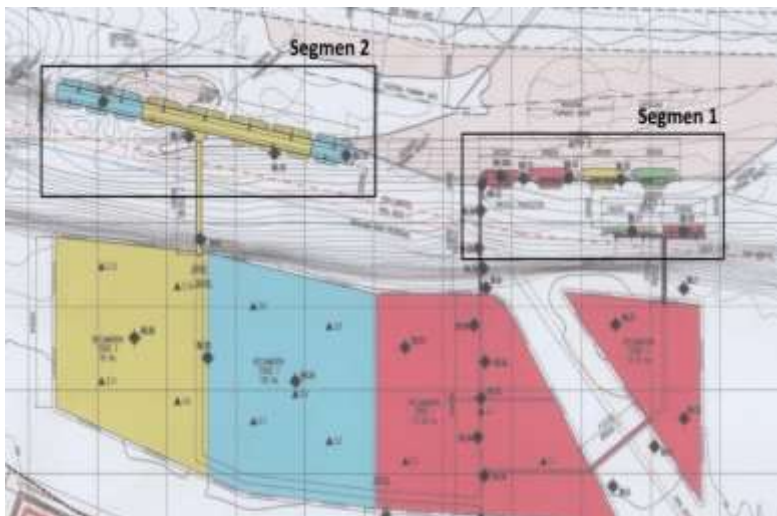
1. Kandidat tubrukan merupakan kapal yang masuk atau keluar dari Pelabuhan Tanjung Perak, Pelabuhan Gresik, dan Pelabuhan Teluk Lamong dengan kapal yang sedang melakukan proses bongkar muat di *Jetty* milik PT.BMS..
2. Sistem propulsi di kapal yang masuk atau keluar dari Pelabuhan Tanjung Perak, Pelabuhan Gresik, dan Pelabuhan Teluk Lamong mengalami kegagalan sehingga menyebabkan kapal berhenti didaerah sekitar *Jetty* milik PT.BMS.
3. Angin dan arus mengarah ke arah *Jetty* milik PT.BMS sehingga kapal terseret menuju *Jetty* sehingga sangat memungkinkan untuk terjadinya tubrukan dengan kapal yang sedang melakukan proses bongkar muat di *Jetty* milik PT.BMS.
4. Kemungkinan terjadinya *ship-ship drifting collision* karena kegagalan sistem propulsi yang menyebabkan *engine breakdown* dan kapal terseret menuju ke arah *jetty* yang disebabkan oleh angin dan arus yang mengarah ke *Jetty* milik PT.BMS dan menubruk kapal yang sedang melakukan proses bongkar muat di *Jetty* milik PT.BMS.

4.3. Pembagian Area Kerja

Pada penelitian ini akan dilakukan pembagian segmen yang akan dikaji berdasarkan aktivitas yang terjadi pada daerah yang diteliti. Area kerja akan dibagi menjadi 2 segmen sesuai dengan Gambar 4.5, tetapi pembagian segmen ini hanya berlaku untuk sebagian tipe tubrukan saja seperti *crossing collision*,

overtaking collision, dan *drifting collision*. Pembagian area kerja di setiap segmennya ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh tubrukan berdasarkan banyaknya kapal yang melakukan aktivitas di setiap segmennya.

Pada segmen 1, terdapat *traffic* kapal yang mengarah menuju atau meninggalkan *Jetty 1* serta *Jetty 2* dan memungkinkan terjadinya tubrukan kapal di *Jetty 1* dan *Jetty 2* dengan kapal yang akan masuk ataupun keluar dari Pelabuhan Tanjung Perak, Pelabuhan Gresik, dan Pelabuhan Teluk Lamong. Dekatnya jarak *Jetty 1* dan *Jetty 2* yang berjarak sekitar 350m dan 400m dari sisi terluar alur pelayaran kondisi *existing* dan padatnya alur pelayaran di Alur Pelayaran Barat Surabaya sekitar 21493 kapal per tahun (Pelindo III,2013) menyebabkan perlu dilakukan kajian keselamatan lebih lanjut untuk memastikan nilai frekuensi tubrukan kapal.



Gambar 4. 5 Pembagian Zona Kajian Keselamatan
(Sumber : PT. BMS)

Pembagian area kerja di setiap segmennya ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh tubrukan berdasarkan banyaknya kapal yang melakukan aktivitas di setiap segmennya.

Pada segmen 1, terdapat *traffic* kapal yang mengarah menuju atau meninggalkan *Jetty* 1 serta *Jetty* 2 dan memungkinkan terjadinya tubrukan kapal di *Jetty* 1 dan *Jetty* 2 dengan kapal yang akan masuk ataupun keluar dari Pelabuhan Tanjung Perak, Pelabuhan Gresik, dan Pelabuhan Teluk Lamong. Dekatnya jarak *Jetty* 1 dan *Jetty* 2 yang berjarak sekitar 350 m dan 400 m dari sisi terluar alur pelayaran kondisi *existing* dan padatnya alur pelayaran di Alur Pelayaran Barat Surabaya sekitar 21493 kapal per tahun (Pelindo III, 2013) menyebabkan perlu dilakukan kajian keselamatan lebih lanjut untuk memastikan nilai frekuensi tubrukan kapal.

Pada segmen 2, kemungkinan terjadi tubrukan juga sangat mungkin terjadi karena adanya aktivitas lalu lintas kapal yang akan memasuki ataupun keluar dari *Jetty* 3 yang akan dioperasikan oleh PT. BMS dengan kapal yang akan masuk ataupun keluar dari Pelabuhan Tanjung Perak, Pelabuhan Gresik, dan Pelabuhan Teluk Lamong. Dekatnya jarak antara *Jetty* 3 dengan alur pelayaran kondisi *existing* yang berjarak sekitar 350 m dan padatnya alur pelayaran di Alur Pelayaran Barat Surabaya sekitar 21493 kapal per tahun (Pelindo III, 2013) menyebabkan perlunya dilakukan kajian keselamatan lebih lanjut untuk memastikan nilai frekuensi tubrukan kapal.

4.4. Penilaian Risiko

Penilaian risiko tubrukan yang akan dilakukan meliputi perhitungan frekuensi dan perhitungan konsekuensi dari kejadian yang akan mungkin terjadi disekitar *Bouy* No. 15.

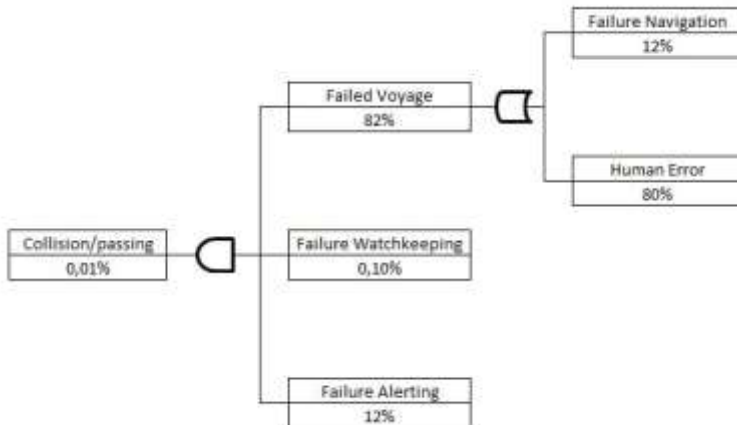
4.4.1. Perhitungan Frekuensi

Pada perhitungan frekuensi ini dibutuhkan beberapa data seperti, data jumlah kapal, jarak dari *jetty* ke alur pelayaran, lebar alur pelayaran, dan estimasi jumlah

kapal kedepannya. Perhitungan frekuensi ini dibagi menjadi beberapa skenario berdasarkan *modelling* yang telah dilakukan untuk mengetahui yang memungkinkan terjadi.

4.4.1.1. Perhitungan Frekuensi *Modelling I*

Skenario tubrukan *modelling* ini melibatkan semua kapal yang beroperasi di Alur Pelayaran Barat Surabaya khususnya yang akan melakukan aktivitas bongkar muat di Pelabuhan Tanjung Perak, Pelabuhan Gresik, dan Pelabuhan Teluk Lamong. Berdasarkan kajian yang telah dilakukan secara geometris jenis tubrukan yang dapat terjadi pada kasus *Modelling I* ini adalah *head on collision*.



Gambar 4. 6 *Fault Tree Analysis untuk Modelling I*

Tahapan pertama yang dilakukan dalam menghitung frekuensi tubrukan adalah menentukan kemungkinan tubrukan setiap kapal yang melintas dengan menggunakan *fault tree analysis* seperti yang ada pada Gambar 4.6. Langkah selanjutnya adalah menentukan *probability collide on meeting situation* berdasarkan persamaan (5) yang dipengaruhi oleh distribusi normal pergerakan kapal dan jarak antar kapal dalam kondisi *head*

on collision. Langkah terakhir adalah menentukan jumlah kandidat tubrukan *head on* yang dipengaruhi oleh *probability collide on meeting situation*, kecepatan relatif kapal, dan jumlah kapal yang berlayar didaerah tersebut setiap tahunnya. Pada perhitungan ini diasumsikan kecepatan kapal di line 1 dan line 2 sebesar 10 knot. Untuk perhitungan *probability collide on meeting situation* dapat dilihat pada perhitungan berikut :

$$P_{G\ i,j}^{head-on} = \phi\left(\frac{\overline{B_{ij}} - \mu_{ij}}{\sigma_{ij}}\right) - \phi\left(-\frac{\overline{B_{ij}} + \mu_{ij}}{\sigma_{ij}}\right)$$

$$P_{G\ i,j}^{head-on} = 0,31\left(\frac{32}{\sqrt{1250}}\right) - 0,31\left(-\frac{32}{\sqrt{1250}}\right)$$

$$P_{G\ i,j}^{head-on} = 0,177$$

Failed planning voyage merupakan kegagalan mempertahankan kondisi kapal untuk berlayar sesuai dengan jalur pelayaran yang telah ditetapkan. Faktor ini bisa dipengaruhi oleh kesalahan sistem navigasi ataupun *human error*.

Failure watchkeeping merupakan penyebab terjadinya tubrukan yang dipengaruhi oleh faktor eksternal. *Failure watchkeeping* yang merupakan bagian dari *human error* bisa disebabkan oleh beberapa hal yaitu kru berada dibawah pengaruh alkohol, kru mengantuk, sakit, absennya kru pada saat pergantian jam jaga, dan banyak faktor lainnya.

Failure alerting dimana hal ini merupakan kegagalan dalam memberi peringatan salah satu kapal untuk mencegah terjadinya tubrukan.

4.4.1.1.1.Existing Condition

Existing condition yang dimaksud disini adalah kondisi Alur Pelayaran Barat Surabaya sebelum melalui proses revitalisasi alur yang ditetapkan oleh Pelindo III, yaitu

dengan kondisi lebar alur sebesar 100 meter dan kedalaman 9,5 LWS.

Berdasarkan Tabel 4.4 tentang hasil frekuensi *head on collision* pada *existing condition* diatas dapat diketahui bahwa risiko dari segi frekuensi yang ada berada diatas 1 yang berarti risiko dari segi frekuensi tidak dapat diterima.

Tabel 4. 4 Frekuensi *Head on Collision Existing Condition*

		2018	2019	2020	2030
A	Failed Navigation	12%	12%	12%	12%
B	Human Error	80%	80%	80%	80%
C	Failed Voyage =A+B-(A-B)	82%	82%	82%	82%
D	Failure Watchkeeping	0,10%	0,10%	0,10%	0,10%
E	Failure Alerting	12%	12%	12%	12%
F	Prob. Collision per Passing =C*D*E	0,01%	0,01%	0,01%	0,01%
G	Length of Waterways (Lw) in metres	5600	5600	5600	5600
H	Probability collide on meeting situation (P _G)	0,0177	0,0177	0,0177	0,0177
I	Relative speed between the vessel (V _{ij}) in m/s	10,2889	10,2889	10,2889	10,2889
J	Number per passage in line 1 (Q ₁) in unit per year	29313	30485	31705	46931
K	Number per passage in line 2 (Q ₂) in unit per year	29313	30485	31705	46931
L	Number of collision candidate (N _G) in ship per year	5826	6059	6301	9327
M	Head on Collision Frequency in collisions/year =F*L	0,524458	0,5454366	0,567254	0,8396745

Besarnya nilai frekuensi *head on collision* pada *existing condition* diakibatkan oleh sempitnya alur pelayaran pada kondisi *existing* yang hanya sebesar 100 meter dan padatnya kondisi alur pelayaran yang kemungkinan bisa mencapai sekitar 46.931 kapal per tahunnya.

4.4.1.1.2. Future Condition

Future condition yang dimaksud disini adalah kondisi Alur Pelayaran Barat Surabaya setelah melalui proses revitalisasi alur yang ditetapkan oleh Pelindo III, yaitu dengan kondisi lebar alur sebesar 200 meter dan kedalaman 16 LWS.

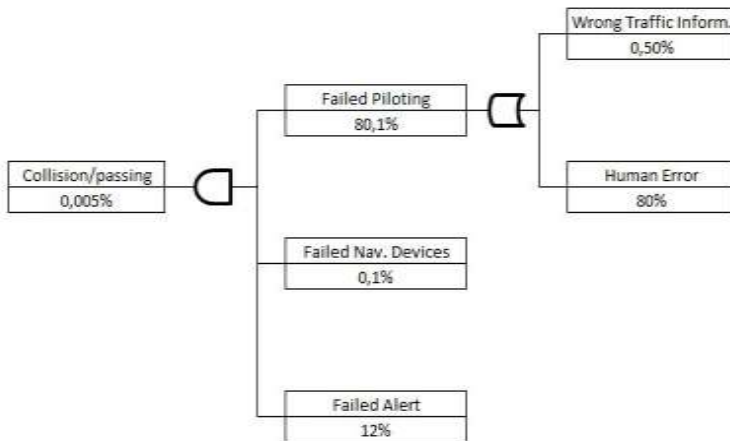
Tabel 4. 5 Frekuensi *Head on Collision Future Condition*

		2018	2019	2020	2030
A	Failed Navigation	12%	12%	12%	12%
B	Human Error	80%	80%	80%	80%
C	Failed Voyage =A+B-(A-B)	82%	82%	82%	82%
D	Failure Watchkeeping	0,10%	0,10%	0,10%	0,10%
E	Failure Alerting	12%	12%	12%	12%
F	Prob. Collision per Passing =C*D*E	0,01%	0,01%	0,01%	0,01%
G	Length of Waterways (Lw) in metres	5600	5600	5600	5600
H	Probability collide on meeting situation (P_G)	0,0089	0,0089	0,0089	0,0089
I	Relative speed between the vessel (Vij) in m/s	10,2889	10,2889	10,2889	10,2889
J	Number per passage in line 1 (Q_1) in unit per year	29313	30485	31705	46931
K	Number per passage in line 2 (Q_2) in unit per year	29313	30485	31705	46931
L	Number of collision candidate (N_G) in ship per year	2913	3029	3151	4664
M	Head on Collision Frequency in collisions/year =F*L	0,262229	0,2727183	0,283627	0,4198373

Berdasarkan Tabel 4.5 tentang hasil frekuensi *head on collision* pada *future condition* diatas dapat diketahui bahwa risiko dari segi frekuensi yang ada masih bisa diterima dan berada dibawah dari batasan yang telah ditentukan.

Nilai frekuensi *head on collision* pada kondisi *existing condition* lebih besar dibandingkan dengan *future condition* diakibatkan oleh lebar alur yang lebih besar pada kondisi *future condition* sehingga daya tampung alur menjadi lebih besar.

4.4.1.2. Perhitungan Frekuensi *Modelling II*



Gambar 4. 7 *Fault Tree Analysis Modelling II*

Skenario tubrukan modelling ini melibatkan semua kapal yang telah selesai melakukan aktivitas bongkar muat di *Jetty* milik PT. BMS dengan kapal dari Pelabuhan Tanjung Perak, Pelabuhan Gresik, dan Pelabuhan Teluk Lamong yang akan keluar dari Alur Pelayaran Barat Surabaya. Berdasarkan kajian yang telah dilakukan secara geometris jenis tubrukan yang mungkin terjadi pada kasus *Modelling II* ini adalah *overtaking collision*. Perhitungan frekuensi tubrukan *Modelling II* ini akan dibagi menjadi dua segmen analisis, yaitu pada Segmen 1 dan Segmen 2. Pada perhitungan *modelling II* diasumsikan kecepatan kapal 4 knot dan 8 knot.

Tahapan pertama yang dilakukan dalam menghitung frekuensi tubrukan adalah menentukan kemungkinan tubrukan setiap kapal yang melintas dengan menggunakan *fault tree analysis* seperti Gambar 4.7 dan menentukan faktor-faktor yang mempengaruhi perhitungan jumlah kandidat tubrukan seperti kondisi alur, dimensi kapal, dan jumlah kapal yang berlayar setiap tahunnya.

Failed navigation devices merupakan kegagalan alat navigasi yang menyebabkan kapal yang akan keluar dari *Jetty* milik PT.BMS tidak dapat mendeteksi objek yang berada di sekitarnya, dalam hal ini radar di kapal tidak dapat mendeteksi pergerakan kapal yang akan keluar dari Alur Pelayaran Barat Surabaya di sekitar *Jetty* milik PT.BMS.

Failure piloting merupakan penyebab terjadinya tubrukan yang dipengaruhi oleh faktor eksternal. *Failure piloting* yang merupakan bagian yang bisa disebabkan dari kesalahan informasi lalu-lintas alur dan human error yang bisa disebabkan oleh beberapa hal yaitu kru berada dibawah pengaruh alkohol, kru mengantuk, sakit, absennya kru pada saat pergantian jam jaga, dan banyak faktor lainnya.

Failure alerting dimana hal ini merupakan kegagalan dalam memberi peringatan salah satu kapal untuk mencegah terjadinya tubrukan

4.4.1.2.1. Existing Condition

Existing condition yang dimaksud disini adalah kondisi Alur Pelayaran Barat Surabaya sebelum melalui proses revitalisasi alur yang ditetapkan oleh Pelindo III, yaitu dengan kondisi lebar alur sebesar 100 meter dan kedalaman 9,5 LWS.

Tabel 4. 6 *Overtaking Collision Existing Condition* pada Segmen 1

		2018	2019	2020	2030
A	Wrong Traffic Information	1%	1%	1%	1%
B	Human Error	80%	80%	80%	80%
C	Failure Piloting = $A+B-(A*B)$	80,10%	80,10%	80,10%	80,10%
D	Failure Navigation Devices	0,05%	0,05%	0,05%	0,05%
E	Failure Alerting	12%	12%	12%	12%
F	Prob. Collision/Passing = $C*D*E$	0,005%	0,005%	0,005%	0,005%
G	Length of Waterways (Lw) in metres	2000	2000	2000	2000
H	Ship Breadth (B) in metres	32	32	32	32
I	Width of Channel in m	100	100	100	100
J	Number per passage in line 1 (Q_1) in unit per year	25045	26217	27437	42663
K	Number per passage in line 2 (Q_2) in unit per year	1950	1950	1950	1950
L	Number of collision candidate (N_C) in ship per year	8396	8760	9140	13875
M	Overtaking Collision Frequency in collisions/year = $F*L$	0,3866894	0,4034852	0,4209527	0,6390591

Berdasarkan Tabel 4.6 tentang hasil frekuensi *overtaking collision existing condition* pada segmen 1 diatas dapat diketahui bahwa risiko dari segi frekuensi yang ada bernilai 0,387; 0,403; 0,421; 0,639 dimana berada dibawah 1 yang berarti risiko dari segi frekuensi dapat diterima.

Besarnya nilai frekuensi *overtaking collision existing condition* pada segmen 1 diakibatkan oleh sempitnya alur pelayaran pada kondisi *existing* yang hanya sebesar 100 meter dan padatnya kondisi Alur Pelayaran Barat Surabaya.

Tabel 4. 7 *Overtaking Collision Existing Condition* pada Segmen 2

		2018	2019	2020	2030
A	Wrong Traffic Information	1%	1%	1%	1%
B	Human Error	80%	80%	80%	80%
C	Failure Piloting = $A+B-(A*B)$	80,10%	80,10%	80,10%	80,10%
D	Failure Navigation Devices	0,05%	0,05%	0,05%	0,05%
E	Failure Alerting	12%	12%	12%	12%
F	Prob. Collision/Passing = $C*D*E$	0,005%	0,005%	0,005%	0,005%
G	Length of Waterways (L_w) in metres	3600	3600	3600	3600
H	Ship Breadth (B) in metres	32	32	32	32
I	Width of Channel in m	100	100	100	100
J	Number per passage in line 1 (Q_1) in unit per year	26995	28167	29387	44613
K	Number per passage in line 2 (Q_2) in unit per year	2318	2318	2318	2318
L	Number of collision candidate (N_G) in ship per year	16410	17067	17749	26273
M	Overtaking Collision Frequency in collisions/year = $F*L$	0,7558088	0,7860412	0,8174828	1,2100742

Berdasarkan Tabel 4.7 tentang hasil frekuensi *overtaking collision existing condition* pada segmen 2 diatas dapat diketahui bahwa risiko dari segi frekuensi yang ada bernilai 0,756; 0,786; 0,817; 1,210 dimana berada diatas 1 yang berarti risiko dari segi frekuensi tidak dapat diterima.

Besarnya nilai frekuensi *overtaking collision existing condition* pada segmen 2 diakibatkan oleh sempitnya alur pelayaran pada kondisi *existing* yang hanya sebesar 100 m dan padatnya kondisi Alur Pelayaran Barat Surabaya. Sedangkan, nilai frekuensi *overtaking collision existing*

condition pada segmen 2 lebih besar dibandingkan dengan segmen 1 diakibatkan jumlah kapal yang beroperasi di segmen 2 lebih banyak dari segmen 1 sehingga nilai frekuensi tubrukan juga menjadi lebih besar.

4.4.1.2.2. *Future Condition*

Future condition yang dimaksud disini adalah kondisi Alur Pelayaran Barat Surabaya setelah melalui proses revitalisasi alur yang ditetapkan oleh Pelindo III, yaitu dengan kondisi lebar alur sebesar 200 meter dan kedalaman 16 LWS.

Tabel 4. 8 *Overtaking Collision Future Condition* pada Segmen 1

		2018	2019	2020	2030
A	Wrong Traffic Information	1%	1%	1%	1%
B	Human Error	80%	80%	80%	80%
C	Failure Piloting =A+B-(A*B)	80,10%	80,10%	80,10%	80,10%
D	Failure Navigation Devices	0,05%	0,05%	0,05%	0,05%
E	Failure Alerting	12%	12%	12%	12%
F	Prob. Collision/Passing =C*D*E	0,005%	0,005%	0,005%	0,005%
G	Length of Waterways (Lw) in metres	2000	2000	2000	2000
H	Ship Breadth (B) in metres	32	32	32	32
I	Width of Channel in m	200	200	200	200
J	Number per passage in line 1 (Q ₁) in unit per year	25045	26217	27437	42663
K	Number per passage in line 2 (Q ₂) in unit per year	1950	1950	1950	1950
L	Number of collision candidate (N _G) in ship per year	4198	4380	4570	6938
M	Overtaking Collision Frequency in collisions/year =F*L	0,1933447	0,2017426	0,2104764	0,3195295

Berdasarkan Tabel 4.8 tentang hasil frekuensi *overtaking collision future condition* pada segmen 1 diatas dapat diketahui bahwa risiko dari segi frekuensi yang ada bernilai 0,193; 0,202; 0,210; 0,320 dimana berada dibawah 1 yang berarti risiko dari segi frekuensi dapat diterima. Besarnya nilai frekuensi *overtaking collision existing condition* dibandingkan *future condition* pada segmen 1 diakibatkan oleh lebar Alur Pelayaran Barat Surabaya yang lebih besar pada kondisi *future* dibandingkan dengan kondisi *existing* sehingga daya tampung Alur Pelayaran Barat Surabaya menjadi lebih besar.

Tabel 4. 9 Overtaking Collision Future Condition pada Segmen 2

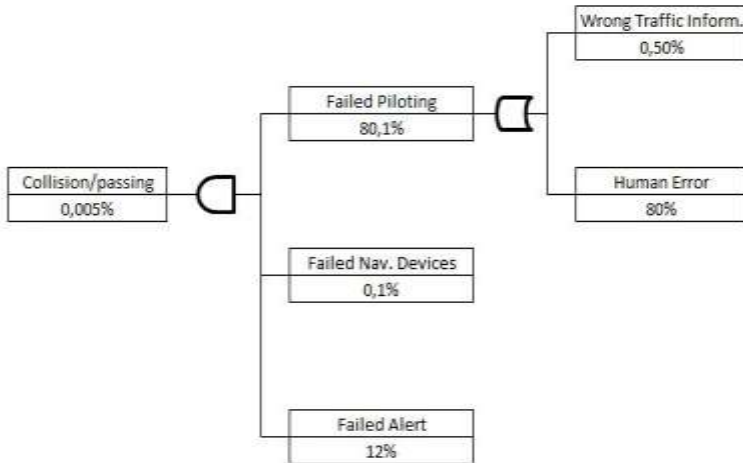
		2018	2019	2020	2030
A	Wrong Traffic Information	1%	1%	1%	1%
B	Human Error	80%	80%	80%	80%
C	Failure Piloting =A+B-(A*B)	80,10%	80,10%	80,10%	80,10%
D	Failure Navigation Devices	0,05%	0,05%	0,05%	0,05%
E	Failure Alerting	12%	12%	12%	12%
F	Prob. Collision/Passing =C*D*E	0,005%	0,005%	0,005%	0,005%
G	Length of Waterways (Lw) in metres	3600	3600	3600	3600
H	Ship Breadth (B) in metres	32	32	32	32
I	Width of Channel in m	200	200	200	200
J	Number per passage in line 1 (Q ₁) in unit per year	26995	28167	29387	44613
K	Number per passage in line 2 (Q ₂) in unit per year	2318	2318	2318	2318
L	Number of collision candidate (N _G) in ship per year	8205	8533	8875	13137
M	Overtaking Collision Frequency in collisions/year =F*L	0,3779044	0,3930206	0,4087414	0,6050371

Berdasarkan Tabel 4.9 tentang hasil frekuensi *overtaking collision future condition* pada segmen 2 diatas dapat diketahui bahwa risiko dari segi frekuensi yang ada bernilai 0,378; 0,393; 0,409; dan 0,605 dimana berada dibawah 1 yang berarti risiko dari segi frekuensi dapat diterima.

Nilai frekuensi *overtaking collision existing condition* pada segmen 2 lebih besar dibandingkan dengan segmen 1 diakibatkan jumlah kapal yang beroperasi di segmen 2 lebih banyak dari segmen 1 sehingga nilai frekuensi tubrukan juga menjadi lebih besar. Sedangkan, besarnya nilai frekuensi *overtaking collision existing condition* dibandingkan *future condition* pada segmen 2 diakibatkan oleh lebar Alur Pelayaran Barat Surabaya yang lebih besar pada kondisi *future* dibandingkan dengan kondisi *existing* sehingga daya tampung Alur Pelayaran Barat Surabaya menjadi lebih besar.

4.4.1.3. Perhitungan Frekuensi Modelling III

Skenario tubrukan modelling ini melibatkan semua kapal yang akan melakukan aktivitas bongkar muat di Jetty milik PT. BMS dengan kapal yang masuk atau keluar dari Pelabuhan Tanjung Perak, Pelabuhan Gresik, dan Pelabuhan Teluk Lamong. Berdasarkan kajian yang telah dilakukan secara geometris jenis tubrukan yang mungkin terjadi pada kasus *Modelling III* ini adalah *crossing collision*. Kasus *Modelling III* ini tidak akan menganalisis hasil tubrukan pada alur *existing condition* dan *future condition* namun akan menganalisis berdasarkan sudut kemungkinan terjadinya tubrukan. Perhitungan frekuensi tubrukan *Modelling III* ini akan dibagi menjadi dua segmen analisis, yaitu pada Segmen 1 dan Segmen 2. Pada perhitungan ini diasumsikan kecepatan kapal A dan kapal B sebesar 4 knot dan 8 knot.



Gambar 4. 8 *Fault Tree Analysis Modelling III*

Tahapan pertama yang dilakukan dalam menghitung frekuensi tubrukan adalah menentukan kemungkinan tubrukan setiap kapal yang melintas dengan menggunakan *fault tree analysis* seperti Gambar 4.8 dan menentukan faktor-faktor yang mempengaruhi perhitungan jumlah kandidat tubrukan seperti kecepatan, dimensi kapal, dan jumlah kapal yang berlayar setiap tahunnya.

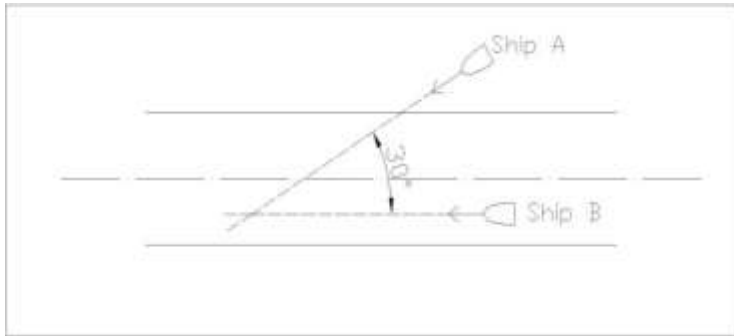
Failed navigation devices merupakan kegagalan alat navigasi yang menyebabkan kapal yang akan melakukan aktivitas bongkar muat di *Jetty* milik PT.BMS tidak dapat mendeteksi objek yang berada di sekitarnya, dalam hal ini radar di kapal tidak dapat mendeteksi pergerakan kapal yang akan masuk ataupun keluar dari Alur Pelayaran Barat Surabaya di sekitar *Jetty* milik PT.BMS.

Failure piloting merupakan penyebab terjadinya tubrukan yang dipengaruhi oleh faktor eksternal. *Failure piloting* yang merupakan bagian dari human error bisa disebabkan oleh beberapa hal yaitu kru berada dibawah

pengaruh alkohol, kru mengantuk, sakit, absennya kru pada saat pergantian jam jaga, dan banyak faktor lainnya.

Failure alerting dimana hal ini merupakan kegagalan dalam memberi peringatan salah satu kapal untuk mencegah terjadinya tubrukan

4.4.1.3.1. *Crossing Collision* dengan $\theta=30^\circ$



Gambar 4. 9 *Crossing Collision* dengan $\theta=30^\circ$

Crossing collision dengan sudut tubrukan sebesar 30° seperti pada Gambar 4.9 ini dimaksudkan untuk mengetahui pengaruh besarnya sudut tubrukan terhadap frekuensi terjadinya *crossing collision*.

Berdasarkan Tabel 4.10 tentang hasil frekuensi *crossing collision* dengan sudut tubrukan 30° pada segmen 1 diatas dapat diketahui bahwa risiko dari segi frekuensi yang ada bernilai 0,290; 0,302; 0,316; dan 0,479 dimana berada dibawah 1 yang berarti risiko dari segi frekuensi dapat diterima.

Tabel 4. 10 *Crossing Collision* dengan $\theta=30^\circ$ pada Segmen 1

		2018	2019	2020	2030
A	Wrong Traffic Information	1%	1%	1%	1%
B	Human Error	80%	80%	80%	80%
C	Failure Piloting = $A+B-(A*B)$	80,10%	80,10%	80,10%	80,10%
D	Failure Navigation Devices	0,05%	0,05%	0,05%	0,05%
E	Failure Alerting	12%	12%	12%	12%
F	Prob. Collision/Passing = $C*D*E$	0,005%	0,005%	0,005%	0,005%
G	Speed Vessel (A) in m/s	2,0578	2,0578	2,0578	2,0578
H	Speed Vessel (B) in m/s	4,1156	4,1156	4,1156	4,1156
I	Relative speed between the vessel (V_{ij}) in m/s	2,5502	2,5502	2,5502	2,5502
J	Collision Diameter (D_{ij}) in m	387,0794	387,0794	387,0794	387,0794
K	Number per passage in line 1 (Q_1) in unit per year	1950	1950	1950	1950
L	Number per passage in line 2 (Q_2) in unit per year	25045	26217	27437	42663
M	Number of collision candidate (N_G) in ship per year	6293	6566	6851	10400
N	Crossing Collision Frequency in collisions/year = $F*N$	0,2898435	0,3024328	0,3155257	0,4790076

Berdasarkan Tabel 4.11 tentang hasil frekuensi *crossing collision* dengan sudut tubrukan 30° pada segmen 2 diatas dapat diketahui bahwa risiko dari segi frekuensi yang ada bernilai 0,315; 0,327; 0,340; dan 0,504 dimana berada dibawah 1 yang berarti risiko dari segi frekuensi dapat diterima.

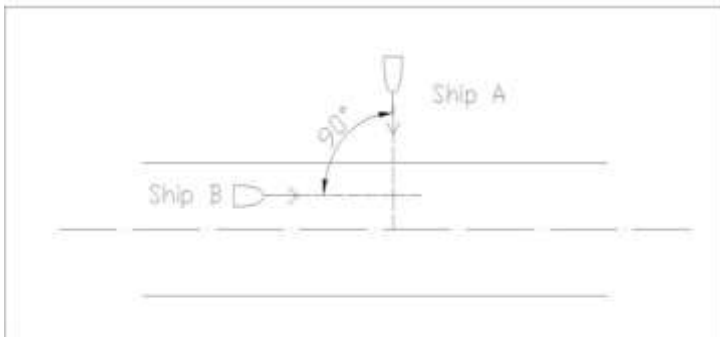
Lebih besarnya nilai frekuensi *crossing collision existing condition* dengan sudut tubrukan 30° pada segmen 2 dibandingkan segmen 1 diakibatkan oleh lebih banyaknya

jumlah kapal yang beroperasi di segmen 2 Jetty PT.BMS tersebut.

Tabel 4. 11 *Crossing Collision* dengan $\theta=30^\circ$ pada Segmen 2

		2018	2019	2020	2030
A	Wrong Traffic Information	1%	1%	1%	1%
B	Human Error	80%	80%	80%	80%
C	Failure Piloting =A+B-(A*B)	80,10%	80,10%	80,10%	80,10%
D	Failure Navigation Devices	0,05%	0,05%	0,05%	0,05%
E	Failure Alerting	12%	12%	12%	12%
F	Prob. Collision/Passing =C*D*E	0,005%	0,005%	0,005%	0,005%
G	Speed Vessel (A) in m/s	2,0578	2,0578	2,0578	2,0578
H	Speed Vessel (B) in m/s	4,1156	4,1156	4,1156	4,1156
I	Relative speed between the vessel (Vij) in m/s	2,5502	2,5502	2,5502	2,5502
J	Collision Diameter (Dij) in m	387,0794	387,0794	387,0794	387,0794
K	Number per passage in line 1 (Q ₁) in unit per year	2318	2318	2318	2318
L	Number per passage in line 2 (Q ₂) in unit per year	26995	28167	29387	44613
M	Number of collision candidate (N _G) in ship per year	6833	7107	7391	10941
N	Crossing Collision Frequency in collisions/year =F*N	0,3147319	0,3273212	0,340414	0,5038959

4.4.1.3.2. *Crossing Collision dengan $\theta=90^\circ$*



Gambar 4. 10 *Crossing Collision dengan $\theta=90^\circ$*

Crossing collision dengan sudut tubrukan sebesar 90° seperti Gambar 4.10, dimaksudkan untuk mengetahui pengaruh besarnya sudut tubrukan terhadap frekuensi terjadinya *crossing collision*.

Berdasarkan Tabel 4.12 tentang hasil frekuensi *crossing collision* dengan sudut tubrukan 90° pada segmen 1 diatas dapat diketahui bahwa risiko dari segi frekuensi yang ada bernilai 0,283; 0,295; 0,308; dan 0,467 dimana berada dibawah 1 yang berarti risiko dari segi frekuensi dapat diterima. Besarnya nilai frekuensi pada perhitungan *crossing collision* dengan sudut tubrukan 90° ini disebabkan oleh lebih besarnya nilai *collision diameter* dan kecepatan relatif antara kedua kapal tersebut dibandingkan dengan kondisi *crossing collision* dengan sudut tubrukan 30° .

Tabel 4. 12 *Crossing Collision* dengan $\theta=90^\circ$ pada Segmen 1

		2018	2019	2020	2030
A	Wrong Traffic Information	1%	1%	1%	1%
B	Human Error	80%	80%	80%	80%
C	Failure Piloting = $A+B-(A*B)$	80,10%	80,10%	80,10%	80,10%
D	Failure Navigation Devices	0,05%	0,05%	0,05%	0,05%
E	Failure Alerting	12%	12%	12%	12%
F	Prob. Collision/Passing = $C*D*E$	0,005%	0,005%	0,005%	0,005%
G	Speed Vessel (A) in m/s	2,0578	2,0578	2,0578	2,0578
H	Speed Vessel (B) in m/s	4,1156	4,1156	4,1156	4,1156
I	Relative speed between the vessel (V_{ij}) in m/s	4,6013	4,6013	4,6013	4,6013
J	Collision Diameter (D_{ij}) in m	418,5919	418,5919	418,5919	418,5919
K	Number per passage in line 1 (Q_1) in unit per year	1950	1950	1950	1950
L	Number per passage in line 2 (Q_2) in unit per year	25045	26217	27437	42663
M	Number of collision candidate (N_G) in ship per year	6139	6406	6683	10146
N	Crossing Collision Frequency in collisions/year = $F*N$	0,2827666	0,2950485	0,3078217	0,467312

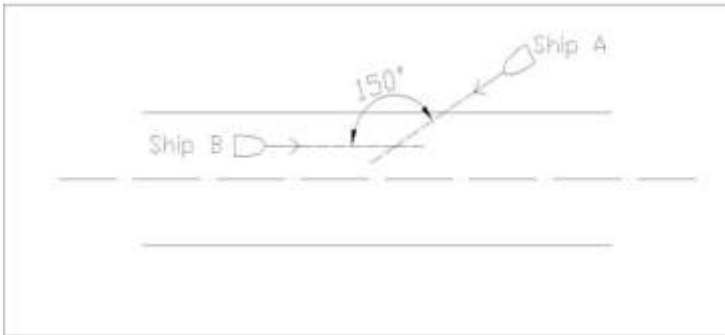
Berdasarkan Tabel 4.13 tentang hasil frekuensi *crossing collision* dengan sudut tubrukan 90° pada segmen 2 diatas dapat diketahui bahwa risiko dari segi frekuensi yang ada bernilai 0,307; 0,319; 0,332; dan 0,492 dimana berada dibawah 1 yang berarti risiko dari segi frekuensi dapat diterima. Lebih besarnya nilai frekuensi *crossing collision existing condition* dengan sudut tubrukan 90° pada segmen 2 dibandingkan segmen 1 diakibatkan oleh lebih banyaknya jumlah kapal yang beroperasi di segmen 2 Jetty PT.BMS

tersebut. Sedangkan, besarnya nilai frekuensi pada perhitungan *crossing collision* dengan sudut tubrukan 90° ini disebabkan oleh lebih besarnya nilai collision diameter dan kecepatan relatif antara kedua kapal tersebut dibandingkan dengan kondisi crossing collision dengan sudut tubrukan 30° .

Tabel 4. 13 *Crossing Collision* dengan $\theta=90^\circ$ pada Segmen 2

		2018	2019	2020	2030
A	Wrong Traffic Information	1%	1%	1%	1%
B	Human Error	80%	80%	80%	80%
C	Failure Piloting =A+B-(A*B)	80,10%	80,10%	80,10%	80,10%
D	Failure Navigation Devices	0,05%	0,05%	0,05%	0,05%
E	Failure Alerting	12%	12%	12%	12%
F	Prob. Collision/Passing =C*D*E	0,005%	0,005%	0,005%	0,005%
G	Speed Vessel (A) in m/s	2,0578	2,0578	2,0578	2,0578
H	Speed Vessel (B) in m/s	4,1156	4,1156	4,1156	4,1156
I	Relative speed between the vessel (V _{ij}) in m/s	4,6013	4,6013	4,6013	4,6013
J	Collision Diameter (D _{ij}) in m	418,5919	418,5919	418,5919	418,5919
K	Number per passage in line 1 (Q ₁) in unit per year	2318	2318	2318	2318
L	Number per passage in line 2 (Q ₂) in unit per year	26995	28167	29387	44613
M	Number of collision candidate (N _G) in ship per year	6667	6933	7211	10673
N	Crossing Collision Frequency in collisions/year =F*N	0,3070473	0,3193292	0,3321024	0,4915927

4.4.1.3.3. *Crossing Collision* dengan $\theta=150^\circ$



Gambar 4. 11 *Crossing Collision* dengan $\theta=150^\circ$

Crossing collision dengan sudut tubrukan sebesar 150° seperti Gambar 4.11 dimaksudkan untuk mengetahui pengaruh besarnya sudut tubrukan terhadap frekuensi terjadinya *crossing collision*.

Berdasarkan Tabel 4.14 tentang hasil frekuensi *crossing collision* dengan sudut tubrukan 150° pada segmen 1 diatas dapat diketahui bahwa risiko dari segi frekuensi yang ada bernilai 0,362; 0,378; 0,394; dan 0,598 dimana berada dibawah 1 yang berarti risiko dari segi frekuensi dapat diterima.

Besarnya nilai frekuensi pada perhitungan *crossing collision* dengan sudut tubrukan 150° ini disebabkan oleh lebih besarnya nilai kecepatan relatif antara kedua kapal tersebut dibandingkan dengan kondisi *crossing collision* dengan sudut tubrukan 30° meskipun mempunyai *collision diameter* lebih kecil.

Tabel 4. 14 *Crossing Collision* dengan $\theta=150^\circ$ pada Segmen 1

		2018	2019	2020	2030
A	Wrong Traffic Information	1%	1%	1%	1%
B	Human Error	80%	80%	80%	80%
C	Failure Piloting = $A+B-(A*B)$	80,10%	80,10%	80,10%	80,10%
D	Failure Navigation Devices	0,05%	0,05%	0,05%	0,05%
E	Failure Alerting	12%	12%	12%	12%
F	Prob. Collision/Passing = $C*D*E$	0,005%	0,005%	0,005%	0,005%
G	Speed Vessel (A) in m/s	2,0578	2,0578	2,0578	2,0578
H	Speed Vessel (B) in m/s	4,1156	4,1156	4,1156	4,1156
I	Relative speed between the vessel (V_{ij}) in m/s	5,9867	5,9867	5,9867	5,9867
J	Collision Diameter (D_{ij}) in m	205,9381	205,9381	205,9381	205,9381
K	Number per passage in line 1 (Q_1) in unit per year	1950	1950	1950	1950
L	Number per passage in line 2 (Q_2) in unit per year	25045	26217	27437	42663
M	Number of collision candidate (N_G) in ship per year	7860	8201	8556	12989
N	Crossing Collision Frequency in collisions/year = $F*N$	0,3620008	0,3777242	0,394076	0,5982576

Berdasarkan Tabel 4.15 tentang hasil frekuensi *crossing collision* dengan sudut tubrukan 150° pada segmen 2 diatas dapat diketahui bahwa risiko dari segi frekuensi yang ada bernilai 0,393; 0,409; 0,425; dan 0,629 dimana berada dibawah 1 yang berarti risiko dari segi frekuensi dapat diterima.

Lebih besarnya nilai frekuensi *crossing collision existing condition* dengan sudut tubrukan 150° pada segmen 2 dibandingkan segmen 1 diakibatkan oleh lebih banyaknya

jumlah kapal yang beroperasi di segmen 2 Jetty PT.BMS tersebut.

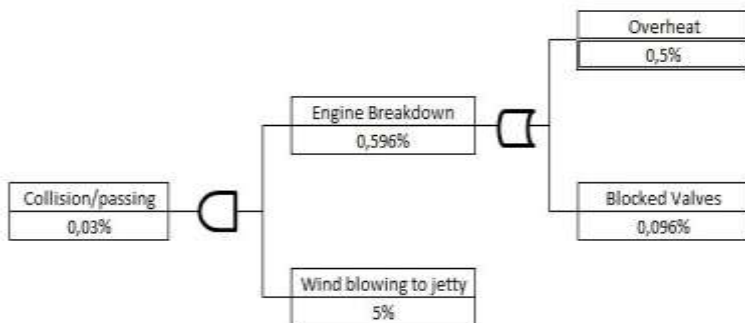
Sedangkan, besarnya nilai frekuensi pada perhitungan *crossing collision* dengan sudut tubrukan 150° ini disebabkan oleh lebih besarnya nilai kecepatan relatif antara kedua kapal tersebut dibandingkan dengan kondisi *crossing collision* dengan sudut tubrukan 30° meskipun nilai *collision diameter*-nya lebih kecil.

Tabel 4. 15 *Crossing Collision* dengan $\theta=150^\circ$ pada Segmen2

		2018	2019	2020	2030
A	Wrong Traffic Information	1%	1%	1%	1%
B	Human Error	80%	80%	80%	80%
C	Failure Piloting =A+B-(A*B)	80,10%	80,10%	80,10%	80,10%
D	Failure Navigation Devices	0,05%	0,05%	0,05%	0,05%
E	Failure Alerting	12%	12%	12%	12%
F	Prob. Collision/Passing =C*D*E	0,005%	0,005%	0,005%	0,005%
G	Speed Vessel (A) in m/s	2,0578	2,0578	2,0578	2,0578
H	Speed Vessel (B) in m/s	4,1156	4,1156	4,1156	4,1156
I	Relative speed between the vessel (V_{ij}) in m/s	5,9867	5,9867	5,9867	5,9867
J	Collision Diameter (D_{ij}) in m	205,9381	205,9381	205,9381	205,9381
K	Number per passage in line 1 (Q_1) in unit per year	2318	2318	2318	2318
L	Number per passage in line 2 (Q_2) in unit per year	26995	28167	29387	44613
M	Number of collision candidate (N_G) in ship per year	8535	8876	9231	13664
N	Crossing Collision Frequency in collisions/year =F*N	0,3930852	0,4088086	0,4251609	0,629342

4.4.1.4. Perhitungan Frekuensi *Modelling IV*

Skenario tubrukan modelling ini melibatkan semua kapal yang sedang melakukan aktivitas bongkar muat di *jetty* milik PT. BMS dengan kapal yang masuk atau keluar dari Pelabuhan Tanjung Perak, Pelabuhan Gresik, dan Pelabuhan Teluk Lamong. Berdasarkan kajian yang telah dilakukan secara geometris jenis tubrukan yang mungkin terjadi pada kasus *Modelling IV* ini adalah *drifting collision*. Kasus *Modelling IV* ini tidak akan menganalisis hasil tubrukan pada alur *existing condition* dan *future condition*. Perhitungan frekuensi tubrukan *Modelling IV* ini akan dibagi menjadi dua segmen analisis, yaitu pada Segmen 1 dan Segmen 2.



Gambar 4. 12 *Fault Tree Analysis Modelling IV*

Tahapan pertama yang dilakukan dalam menghitung frekuensi tubrukan adalah menentukan kemungkinan tubrukan setiap kapal yang melintas dengan menggunakan *fault tree analysis* seperti Gambar 4.12 dan faktor-faktor yang mempengaruhi perhitungan jumlah kandidat tubrukan seperti kecepatan, dimensi kapal, dan jumlah kapal yang berlayar setiap tahunnya.

Engine breakdown merupakan kegagalan sistem propulsi yang menyebabkan kapal yang akan masuk ataupun keluar dari Alur Pelayaran Barat Surabaya dan berada di sekitar *jetty* milik PT.BMS kehilangan kontrol dan tidak dapat mengendalikan kapalnya tersebut pada perhitungan ini diasumsikan penyebab *engine breakdown* disebabkan oleh mesin terlalu panas dan tersumbatnya katup.

Wind / jetty drift the ship to the jetty merupakan penyebab terjadinya tubrukan yang dipengaruhi oleh faktor eksternal. Jadi, kapal yang kehilangan kendali tadi dapat menabrak kapal yang sedang melakukan bongkar muat di *Jetty* milik PT. BMS jika arus dan angin mengarah ke *jetty* sehingga menyeret kapal untuk menuju dan pada akhirnya akan menabrak kapal di *Jetty* milik PT. BMS.

Tabel 4. 16 Frekuensi *Drifting Collision* pada Segmen 1

		2018	2019	2020	2030
A	Overheating Probability	0,50%	0,50%	0,50%	0,50%
B	Blocked Valves Probability	0,10%	0,10%	0,10%	0,10%
C	Engine Breakdown Prob. =A+B-(A*B)	0,60%	0,60%	0,60%	0,60%
D	Engine Breakdown Probability in the box	0,06%	0,06%	0,06%	0,06%
E	Prob. Wind Blowing to Jetty	5%	5%	5%	5%
F	Probability Collision per Passing =D*E	0,003%	0,003%	0,003%	0,003%
G	Traffic in the box	50090	52435	54873	85326
H	Collision diameter	1250	1250	1250	1250
I	Box length perpendicular to wind direction	4800	4800	4800	4800
J	Drifting collision frequency	0,394275	0,412734	0,431931	0,671631

Berdasarkan Tabel 4.16 tentang hasil frekuensi *drifting collision* pada segmen 1 diatas dapat diketahui bahwa risiko dari segi frekuensi yang ada bernilai 0,394;

0,413; 0,432; dan 0,672 dimana berada dibawah 1 yang berarti risiko dari segi frekuensi dapat diterima.

Besarnya nilai frekuensi *drifting collision* pada segmen 1 diakibatkan oleh padatnya kondisi Alur Pelayaran Barat Surabaya yang kemungkinan bisa mencapai sekitar 46.931 kapal per tahunnya.

Tabel 4. 17 Frekuensi *Drifting Collision* pada Segmen 2

		2018	2019	2020	2030
A	Overheating Probability	0,50%	0,50%	0,50%	0,50%
B	Blocked Valves Probability	0,10%	0,10%	0,10%	0,10%
C	Engine Breakdown Prob. =A+B-(A*B)	0,60%	0,60%	0,60%	0,60%
D	Engine Breakdown Probability in the box	0,06%	0,06%	0,06%	0,06%
E	Prob. Wind Blowing to Jetty	5%	5%	5%	5%
F	Probability Collision per Passing =D*E	0,003%	0,003%	0,003%	0,003%
G	Traffic in the box	50090	52435	54873	85326
H	Collision diameter	1750	1750	1750	1750
I	Box length perpendicular to wind direction	4800	4800	4800	4800
J	Drifting collision frequency	0,551985	0,57782790	0,604703	0,940283

Berdasarkan Tabel 4.17 tentang hasil frekuensi *drifting collision* pada segmen 2 diatas dapat diketahui bahwa risiko dari segi frekuensi yang ada bernilai 0,552; 0,578; 0,605; dan 0,940 dimana berada dibawah 2 yang berarti risiko dari segi frekuensi dapat diterima.

Besarnya nilai frekuensi *drifting collision* pada segmen 2 diakibatkan oleh padatnya kondisi Alur Pelayaran Barat Surabaya yang kemungkinan bisa mencapai sekitar 46.931 kapal per tahunnya.

Frekuensi *drifting collision* pada segmen 2 mempunyai nilai yang lebih besar dibandingkan dengan

segmen 1, hal ini karena *collision diameter* pada segmen 2 jauh lebih besar dibandingkan dengan segmen 1.

Berdasarkan analisis diatas, perhitungan yang memiliki nilai frekuensi tertinggi adalah *drifting collision*, maka untuk perhitungan batas maksimum kapal yang boleh berlayar di Alur Pelayaran Barat Surabaya dihitung melalui perhitungan *drifting collision* seperti pada Tabel 4.18.

Tabel 4. 18 Maksimal *Traffic in the Box*

A	Drifting collision frequency	1
B	Probability collision per passing	0,003%
C	Collision diameter	1750
D	Box length perpendicular to wind direction	4800
E	Traffic in the box	90744

$$\text{Jumlah kapal/tahun} = \left(\frac{\text{Traffic in the box}}{2} \right) + \text{Jumlah kapal di BMS}$$

$$\text{Jumlah kapal/tahun} = \left(\frac{90744}{2} \right) + 4268$$

$$\text{Jumlah kapal per tahun} = 49640 \text{ kapal per tahun}$$

Hasil yang didapatkan berdasarkan hasil perhitungan *drifting collision* dapat ditarik kesimpulan batas maksimum kapal yang diperbolehkan beroperasi pada *future condition* adalah sebanyak 49640 kapal per tahun.

4.4.2. Perhitungan Konsekuensi

Perhitungan konsekuensi bertujuan untuk mengetahui seberapa besar energi yang dihasilkan ketika terjadi tubrukan dan untuk mengetahui seberapa parah dampak yang ditimbulkan ketika tubrukan itu terjadi.

Untuk melakukan analisis konsekuensi ini harus dilakukan kajian tentang energi tubrukan yang dihasilkan

oleh kapal. Besaran energi tubrukan yang dihasilkan oleh kapal ini dipengaruhi oleh energi kinetik yang dimiliki oleh kapal itu terhadap berat kapal dan kecepatan kapal pada saat menubruk objek.

4.4.2.1. Analisis Tubrukan Struktur Kapal

Kerusakan terparah yang bisa terjadi pada struktur lambung kapal adalah robeknya lambung kapal. Oleh sebab itu analisis hasil tubrukan harus dilakukan untuk mengetahui dampak tubrukan terhadap struktur lambung kapal. Perhitungan besarnya energi yang dihasilkan dari tubrukan dihitung berdasarkan persamaan (12), sedangkan untuk perhitungan besarnya penetrasi atau penyok hasil dari tubrukan dihitung berdasarkan persamaan (17). Berdasarkan analisis yang dihasilkan pada Tabel 4.19, Tabel 4.20, Tabel 4.21, Tabel 4.22, dan Tabel 23 dapat disimpulkan bahwa sudut tubrukan sangat berpengaruh terhadap energi yang dihasilkan. Semakin besar sudut tubrukan, semakin besar pula energi yang dihasilkan dan semakin parah dampak yang dihasilkan. Hal ini dikarenakan ketika sudut tubrukan semakin besar maka tubrukan yang dihasilkan cenderung *sticking case* dan semakin kecil sudut tubrukan maka tubrukan yang dihasilkan cenderung *sliding case*.

Tabel 4. 19 Analisis Tubrukan dengan Sudut Tubrukan 30°

Vessel A Displacement	Vessel B Displacement	Ee ($\beta=30^\circ$) (in MJ)	h (dent in cm)
500	500	0,029297398	0,022
	1000	0,041010743	0,031
	4000	0,05847959	0,044
	8000	0,06355428	0,048
	15000	0,066245991	0,050
	20000	0,067108615	0,050
	35000	0,068163862	0,051
1000	55000	0,068762684	0,052
	1000	0,058230165	0,044
	4000	0,101081338	0,076
	8000	0,117192044	0,088
	15000	0,126621876	0,095
	20000	0,129785853	0,097
	35000	0,133761873	0,100
4000	55000	0,136066153	0,102
	4000	0,219811465	0,165
	8000	0,315222884	0,236
	15000	0,39522113	0,296
	20000	0,428013647	0,321
	35000	0,47467737	0,356
8000	55000	0,505074335	0,379
	8000	0,437846163	0,328
	15000	0,610897976	0,458
	20000	0,693503344	0,520
	35000	0,82527892	0,619
15000	55000	0,92185336	0,691
	15000	0,817855772	0,613
	20000	0,974481281	0,731
	35000	1,257895996	0,943
20000	55000	1,497979116	1,123
	20000	1,101820436	0,826
	35000	1,47937839	1,110
	55000	1,823744739	1,368
35000	20000	1,91254739	1,434
	55000	2,532628145	1,899
55000	55000	3,117418621	2,338

Tabel 4. 20 Analisis Tubrukan dengan Sudut Tubrukan 60°

Vessel A Displacement	Vessel B Displacement	Ee ($\beta=60^\circ$) (in MJ)	h (dent in cm)
500	500	0,25764106	0,193
	1000	0,342834525	0,257
	4000	0,456034804	0,342
	8000	0,482648453	0,362
	15000	0,49403066	0,371
	20000	0,497402346	0,373
	35000	0,502480731	0,377
1000	55000	0,506274963	0,380
	1000	0,474426661	0,356
	4000	0,720715417	0,541
	8000	0,788487481	0,591
	15000	0,818402483	0,614
	20000	0,827366166	0,621
	35000	0,84059262	0,630
4000	55000	0,851881314	0,639
	4000	1,872504262	1,404
	8000	2,41460474	1,811
	15000	2,721492792	2,041
	20000	2,823224619	2,117
	35000	2,98141115	2,236
8000	55000	3,129559103	2,347
	8000	3,662287774	2,747
	15000	4,421666537	3,316
	20000	4,696442224	3,522
	35000	5,14318721	3,857
15000	55000	5,605717465	4,204
	15000	6,415264766	4,811
	20000	7,014806026	5,261
	35000	8,06124799	6,046
20000	55000	9,258392031	6,944
	20000	8,138235066	6,104
	35000	9,577738141	7,183
	55000	11,31956533	8,490
35000	20000	12,47353248	9,355
	55000	15,63208673	11,724
55000	55000	19,78539882	14,839

Tabel 4. 21 Analisis Tubrukan dengan Sudut Tubrukan 90°

Vessel A Displacement	Vessel B Displacement	Ee ($\beta=90^\circ$) (in MJ)	h (dent in cm)
500	500	1,896979301	1,423
	1000	2,578019716	1,934
	4000	3,536811011	2,653
	8000	3,788292863	2,841
	15000	3,909729254	2,932
	20000	3,947428465	2,961
	35000	4,001558028	3,001
1000	55000	4,030559846	3,023
	1000	3,599139468	2,699
	4000	5,802910522	4,352
	8000	6,525291805	4,894
	15000	6,906256379	5,180
	20000	7,029481154	5,272
	35000	7,207155944	5,405
4000	55000	7,304755189	5,479
	4000	13,96000924	10,470
	8000	18,8203696	14,115
	15000	22,25177267	16,689
	20000	23,55602883	17,667
	35000	25,66216115	19,247
8000	55000	26,94101267	20,206
	8000	27,50045886	20,625
	15000	35,30268056	26,477
	20000	38,64690555	28,985
	35000	44,62579987	33,469
15000	55000	48,63702969	36,478
	15000	49,43592762	37,077
	20000	56,08634439	42,065
	35000	69,45352771	52,090
20000	55000	79,57300145	59,680
	20000	64,30623268	48,230
	35000	82,4212793	61,816
35000	55000	97,00385962	72,753
	35000	107,8232118	80,867
55000	55000	134,0467214	100,535
	55000	167,1974919	125,398

Tabel 4. 22 Analisis Tubrukan dengan Sudut Tubrukan 120°

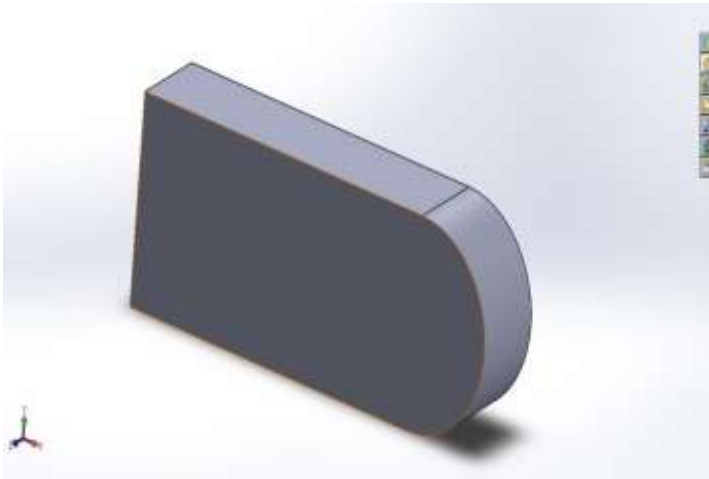
Vessel A Displacement	Vessel B Displacement	Ee ($\beta=120^\circ$) (in MJ)	h (dent in cm)
500	500	4,549637842	3,412
	1000	6,195224403	4,646
	4000	8,518431617	6,389
	8000	9,137356394	6,853
	15000	9,441407068	7,081
	20000	9,536472318	7,152
	35000	9,668450441	7,251
1000	55000	9,740076737	7,305
	1000	8,696822015	6,523
	4000	14,12905746	10,597
	8000	16,84132227	12,631
	15000	17,4548899	13,091
	20000	17,65615663	13,242
	35000	17,93896663	13,454
4000	55000	18,10331146	13,577
	4000	33,5624792	25,172
	8000	53,66751915	40,251
	15000	60,15467273	45,116
	20000	62,5610904	46,921
	35000	66,24119213	49,681
8000	55000	68,5381519	51,404
	8000	84,59722755	63,448
	15000	101,4240763	76,068
	20000	108,3401079	81,255
	35000	119,825441	89,869
15000	55000	127,5723266	95,679
	15000	151,6892825	113,767
	20000	167,2320143	125,424
	35000	195,8996252	146,925
20000	55000	217,2846674	162,964
	20000	197,7048619	148,279
	35000	238,8524388	179,139
35000	55000	271,2998439	203,475
	35000	330,6299361	247,972
55000	55000	395,9708053	296,978
	55000	517,5955753	388,197

Tabel 4. 23 Analisis Tubrukan dengan Sudut Tubrukan 150°

Vessel A Displacement	Vessel B Displacement	Ee ($\beta=150^\circ$) (in MJ)	h (dent in cm)
500	500	6,632844902	4,975
	1000	9,032976785	6,775
	4000	12,41163236	9,309
	8000	13,31701661	9,988
	15000	13,76519498	10,324
	20000	13,90582379	10,429
	35000	14,09737142	10,573
1000	55000	14,20215939	10,652
	1000	12,74332009	9,557
	4000	20,74423695	15,558
	8000	24,67756846	18,508
	15000	25,63799009	19,228
	20000	25,95422298	19,466
	35000	26,38565038	19,789
4000	55000	26,63821771	19,979
	4000	49,00161827	36,751
	8000	77,93847355	58,454
	15000	88,0110483	66,008
	20000	91,78236827	68,837
	35000	97,38814824	73,041
8000	55000	100,9204449	75,690
	8000	121,9562529	91,467
	15000	147,86663	110,900
	20000	158,6747494	119,006
	35000	176,1513874	132,114
15000	55000	188,0814028	141,061
	15000	219,7525319	164,814
	20000	243,8578311	182,893
	35000	287,2292972	215,422
20000	55000	320,094402	240,071
	20000	287,7025974	215,777
	35000	349,780213	262,335
35000	55000	399,60686	299,705
	35000	483,3122797	362,484
55000	55000	583,622742	437,717
	55000	761,5909375	571,193

4.4.2.2. *Finite Element Analysis*

Finite element analysis method merupakan merupakan metode untuk melakukan analisis respon struktur badan kapal akibat tubrukan. Dalam kasus ini, pemodelan tubrukan antara kapal dengan kapal dimana struktur kapal dibuat semirip mungkin dengan keadaan aslinya. Sedangkan, objek yang menubruk dimodelkan dalam sebuah objek berbentuk sederhana yang memiliki kecepatan tertentu dan berat jenis baja sebesar 7850 kg/m^3 .

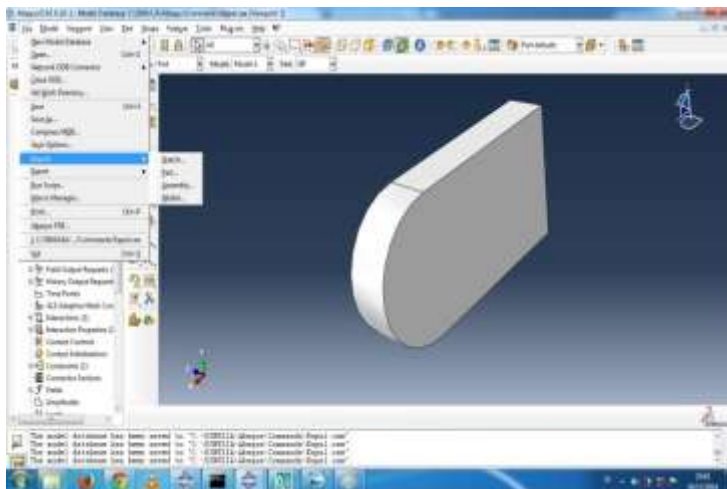


Gambar 4.13 *Colliding object* di SolidWork

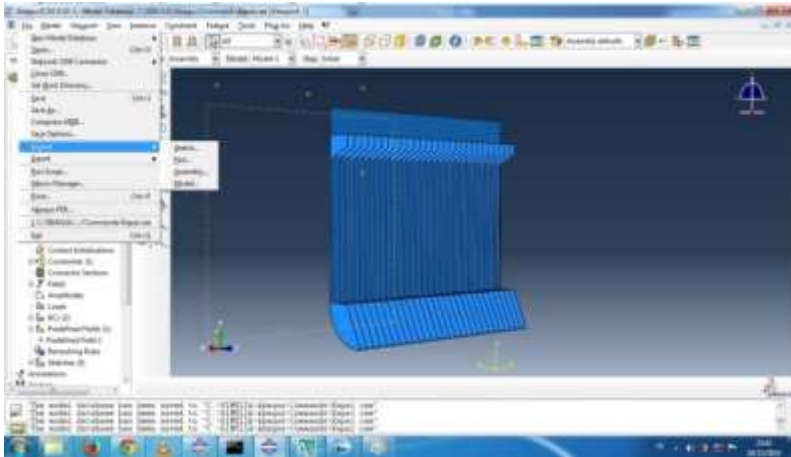


Gambar 4. 14 Struktur lambung kapal di SolidWork

Pada kasus ini, pembuatan struktur kapal dan objek penubruk dibuat di SolidWork yang akan diinput kedalam ABAQUS untuk dilakukan *Finite Element Analysis*.

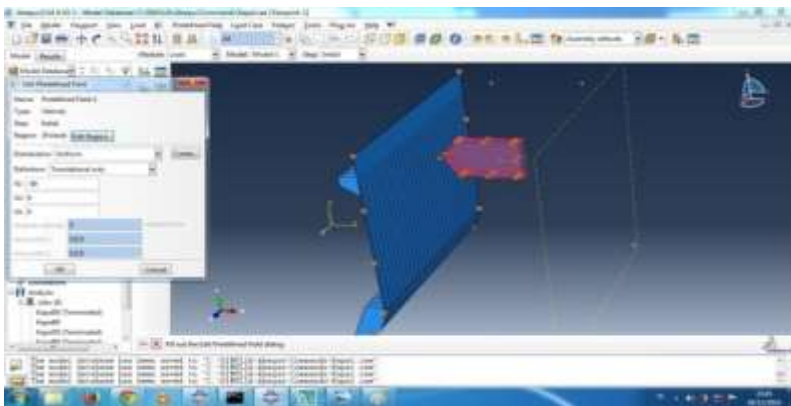


Gambar 4. 15 Import colliding object

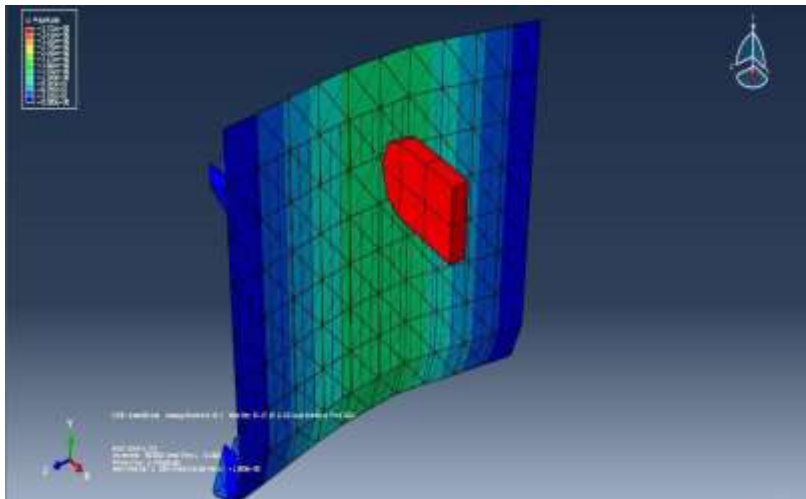


Gambar 4. 16 Import struktur lambung kapal

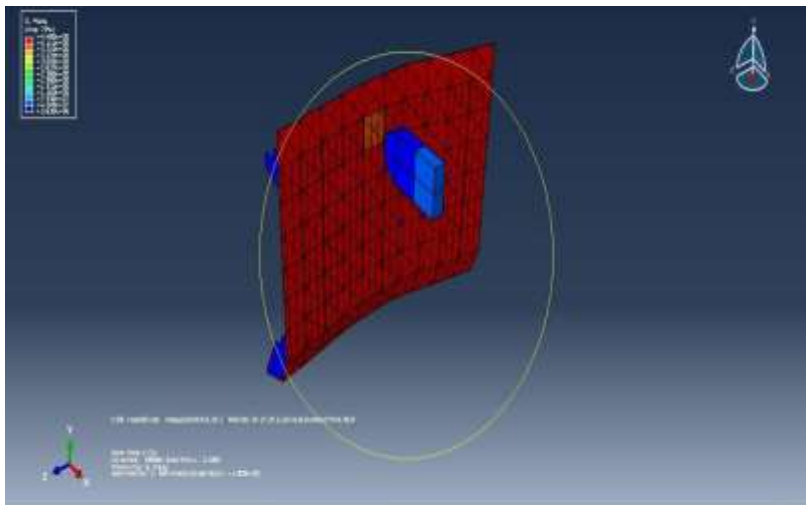
Pada pemodelan ini, besarnya energi divariasikan untuk mendapatkan perbedaan seberapa besar energi yang terserap pada tiap nilai energi tertentu dan seberapa besar dampak yang ditimbulkan pada tiap-tiap nilai energi tersebut. Berikut adalah hasil dari pemodelan tubrukan.



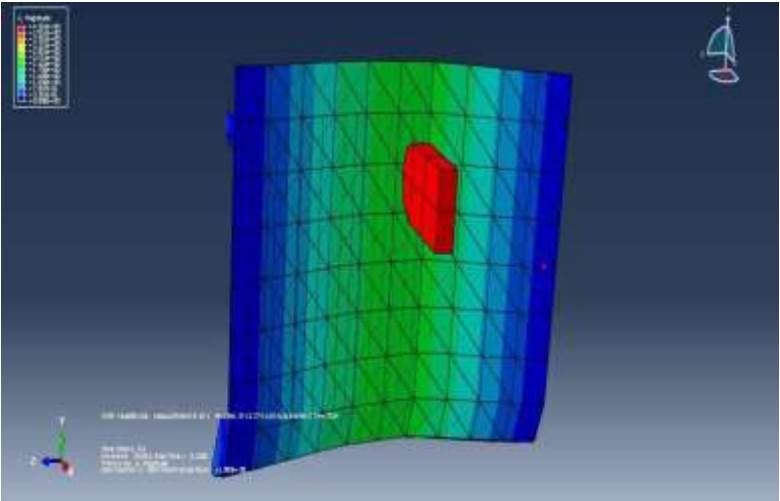
Gambar 4. 17 Pemodelan Tubrukan



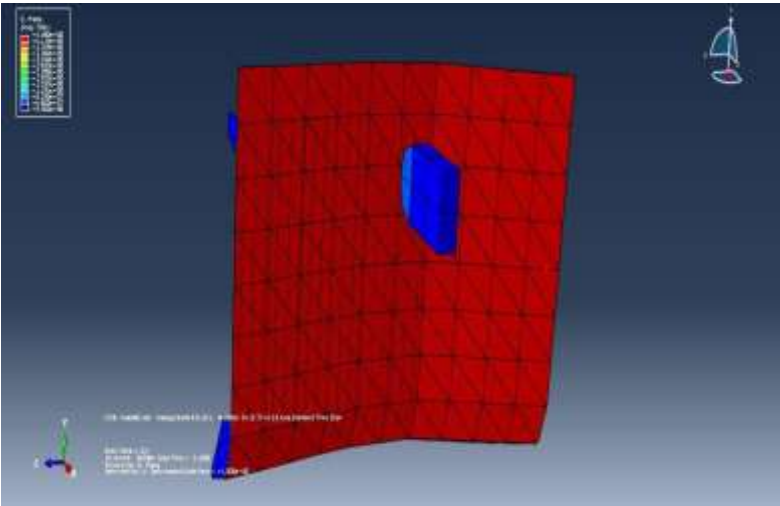
Gambar 4. 18 Model impak energi 181,43 MJ



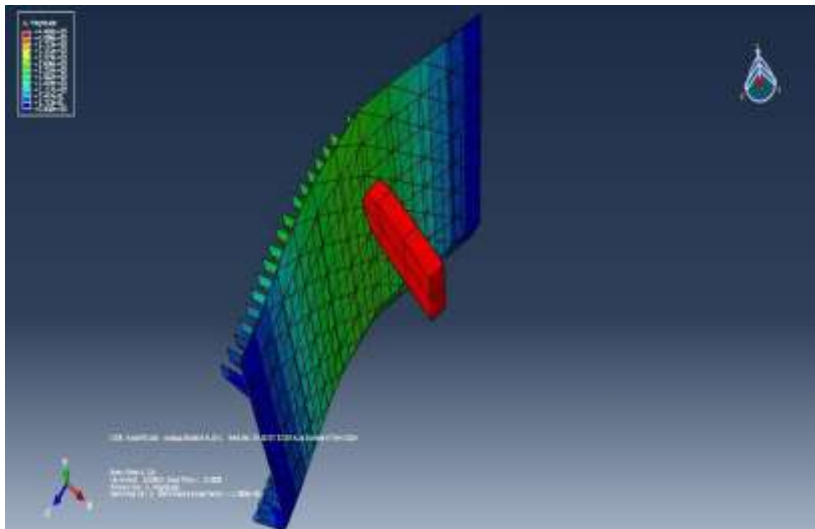
Gambar 4. 19 Distribusi tegangan dengan energi 181,43 MJ



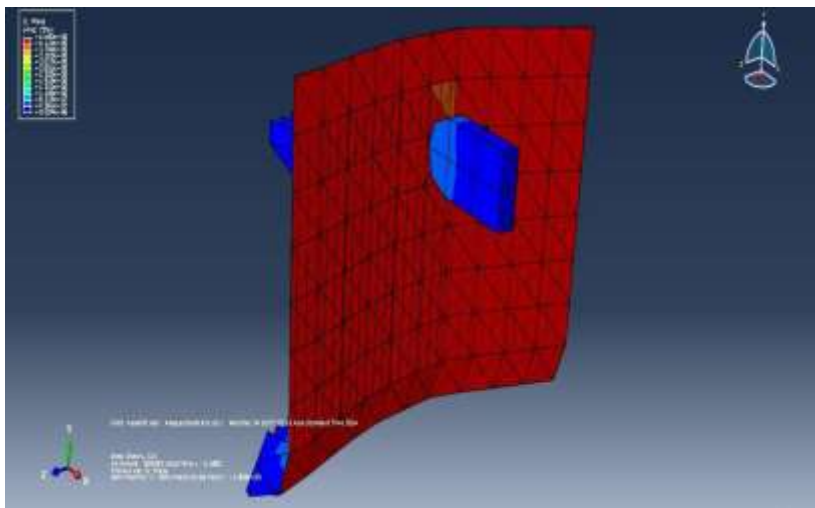
Gambar 4. 20 Model impak energi 261,21 MJ



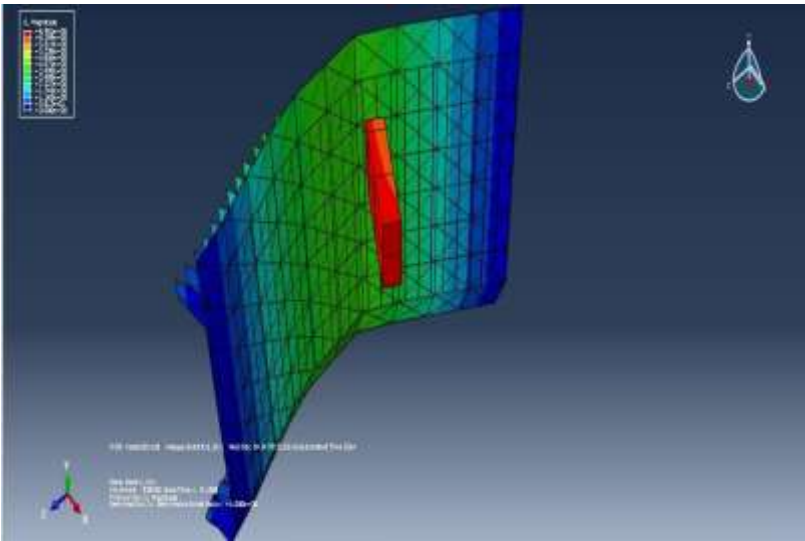
Gambar 4. 21 Distribusi tegangan dengan energi 261,21 MJ



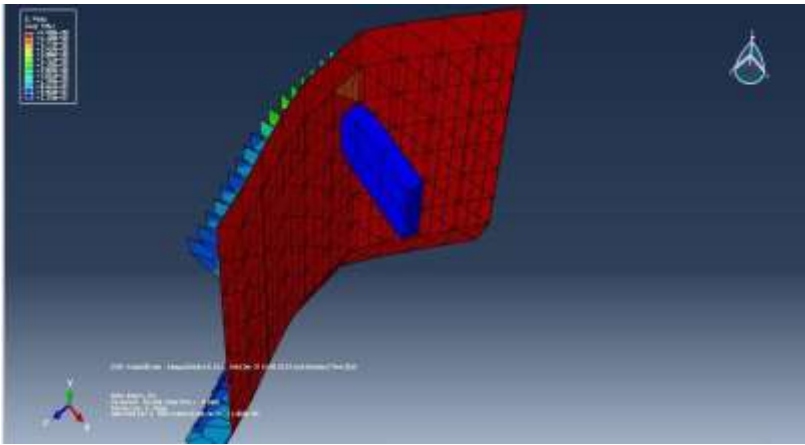
Gambar 4. 22 Model impak energi 355,61 MJ



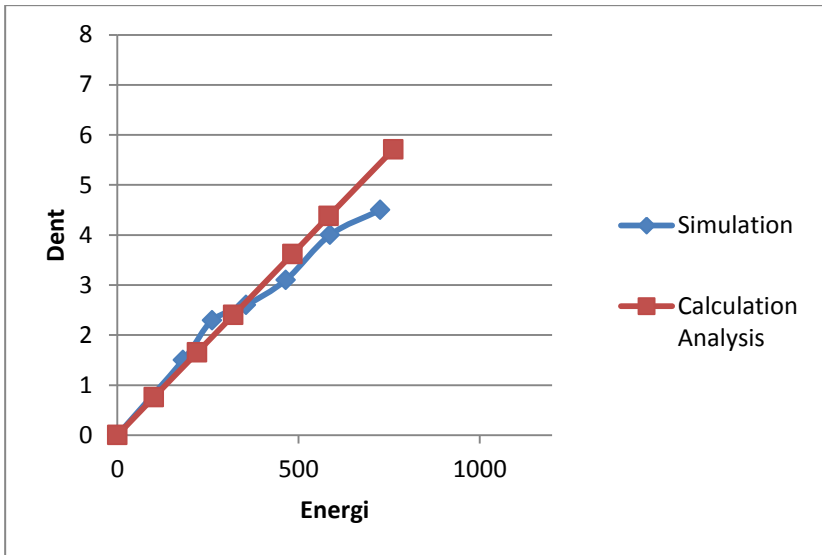
Gambar 4. 23 Distribusi tegangan dengan energi 355,61MJ



Gambar 4. 28 Model impak energi 725,89 MJ



Gambar 4. 29 Distribusi tegangan dengan energi 725,89 MJ



Gambar 4. 30 Perbandingan *denting* dari simulasi dan kalkulasi

Grafik perbandingan antara perhitungan analisis tubrukan dengan analisis hasil simulasi berdasarkan energi dengan *denting* yang terjadi dijelaskan pada Gambar 4.30. Besarnya energi sangat berpengaruh terhadap penetrasi atau penyokan yang dihasilkan. Namun, berdasarkan gambar diatas dapat ditarik kesimpulan terdapat perbedaan yang cukup signifikan antara hasil simulasi dan hasil kalkulasi. Hal ini disebabkan pada saat simulasi faktor eksternal yang mempengaruhi olah gerak kapal seperti *surging motion* dan *swaying motion*.

BAB V

KESIMPULAN

Berdasarkan analisis yang telah dilakukan pada kajian keselamatan aktivitas transportasi laut terhadap *collision* di sekitar *Bouy No. 15* diatas, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Berdasarkan identifikasi bahaya yang telah dilakukan pada bagian deskripsi pemodelan, terdapat empat jenis tubrukan yang dapat terjadi pada daerah sekitar Bouy No. 15 yaitu *head on collision*, *overtaking collision*, *crossing collision*, dan *drifting collision*.
2. Berdasarkan hasil analisis frekuensi yang telah dilakukan dari masing-masing jenis tubrukan pada keadaan tahun-tahun yang akan datang seperti yang ada pada Tabel V.1, dapat ditarik kesimpulan bahwa frekuensi dari masing-masing jenis tubrukan dapat diterima karena hasil dari analisis frekuensi masih berada dibawah satu.

Tabel 5. 1 Hasil Frekuensi Tubrukan

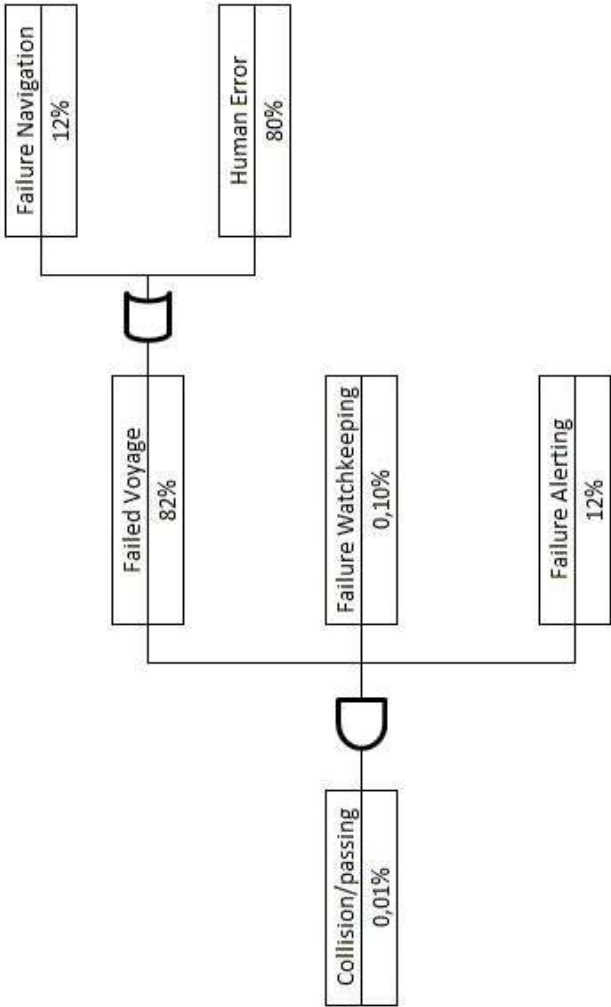
Jenis Tubrukan	Frekuensi	Keterangan
<i>Head on Collision</i>	0,420	<i>ACCEPTABLE</i>
<i>Overtaking Collision</i>	0,605	<i>ACCEPTABLE</i>
<i>Crossing Collision</i>	0,629	<i>ACCEPTABLE</i>
<i>Drifting Collision</i>	0,940	<i>ACCEPTABLE</i>

3. Berdasarkan hasil analisis di atas, dapat ditarik kesimpulan bahwa frekuensi terbesar berada pada tubrukan jenis *drifting collision*. Dari analisis perhitungan yang telah dilakukan didapatkan kesimpulan bahwa jumlah maksimal kapal yang

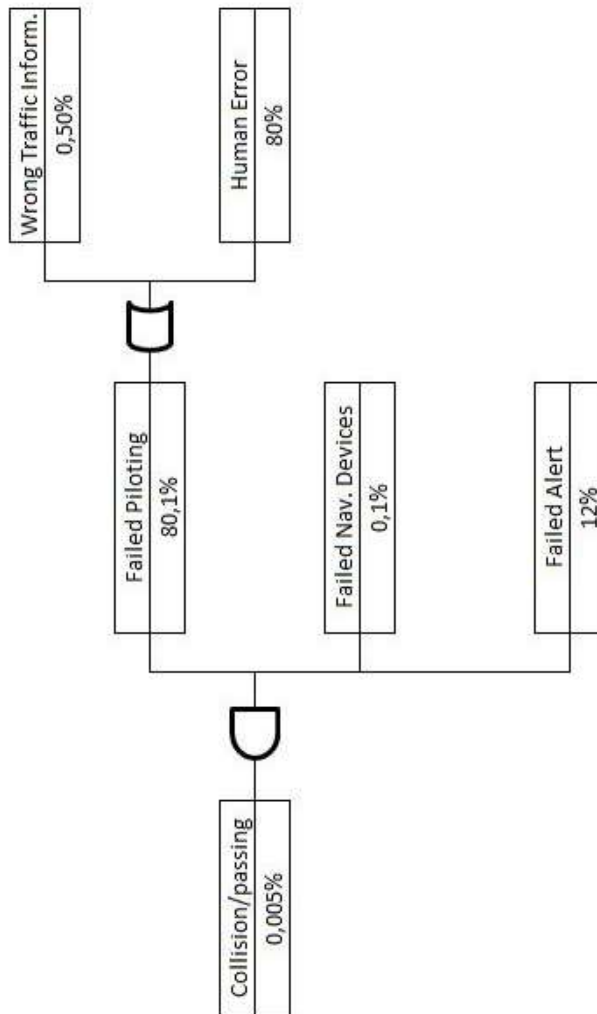
dapat berlayar di Alur Pelayaran Barat Surabaya pada *future condition* adalah sebanyak 49.640 kapal/tahun.

4. Berdasarkan hasil analisis konsekuensi dari kalkulasi dan simulasi yang telah dilakukan didapatkan hasil analisis tidak dapat diterima karena struktur badan kapal bukan dirancang untuk menahan energi sebesar hasil tubrukan tersebut.
5. Untuk upaya mitigasi guna menjaga nilai frekuensi tubrukan dibawah satu, maka perlu diberlakukan upaya sebagai berikut:
 - a. Pembatasan jumlah kapal yang berlayar setiap tahunnya sekitar 49640 kapal pada *future condition*.
 - b. Reposisi Bouy No. No. 15 ke arah timur laut ± 600 meter dengan posisi $07^{\circ}04'54''\text{S}/ 112^{\circ}39'21''\text{T}$, dimana posisi awalnya adalah $07^{\circ}05'07''\text{S}/ 112^{\circ}39'10''\text{T}$.

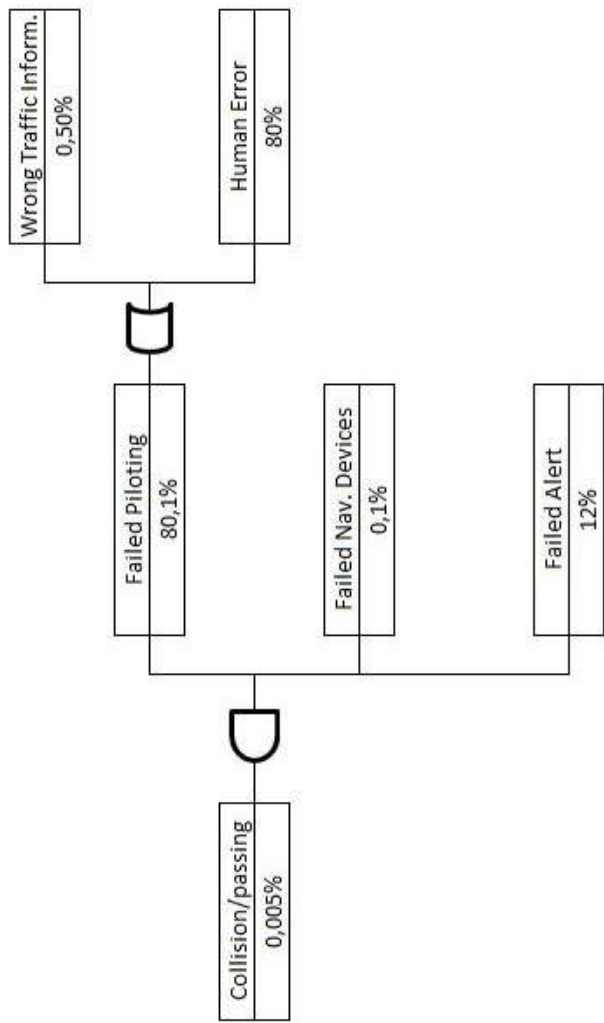
LAMPIRAN I PENILAIAN FREKUENSI



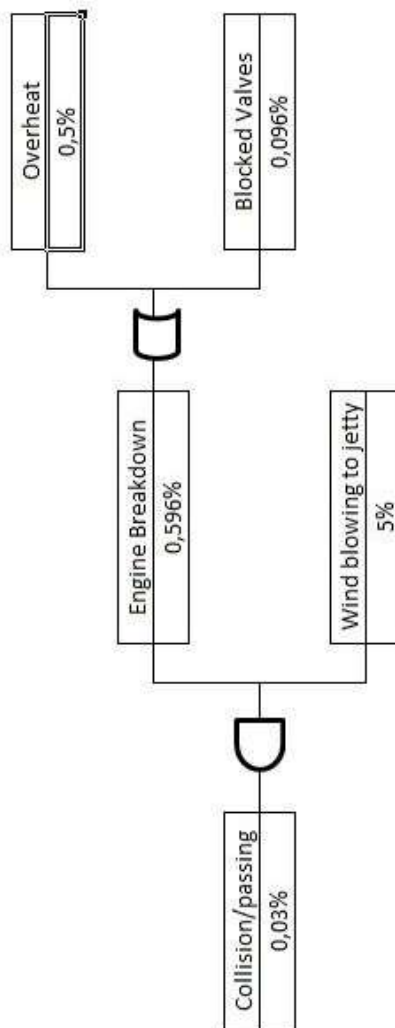
Gambar I. 1 *Fault Tree Analysis Modelling I*



Gambar I. 2 *Fault Tree Analysis Modelling II*



Gambar I. 3 Fault Tree Analysis Modelling III



Gambar I. 4 *Fault Tree Analysis Modelling IV*

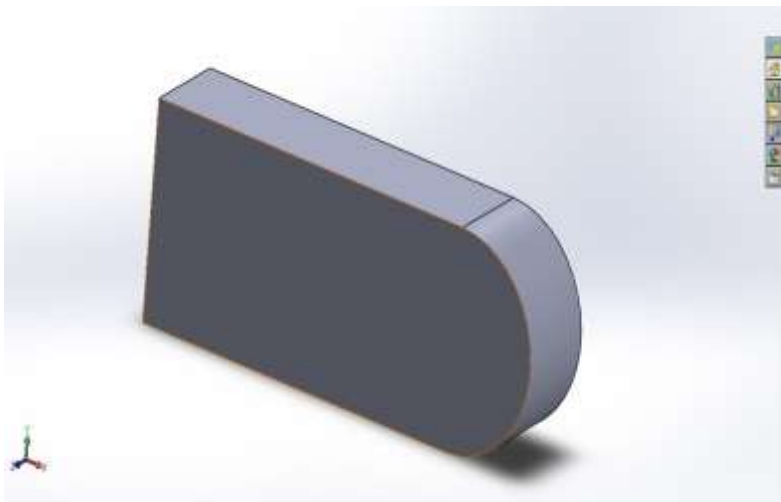
Causal factor group	Causal factor	Frequency	
		abs.	%
I. External factors	G. External conditions influencing navigation and auxiliary equipment	8	1.9
	I. Less than adequate markers and buoys	27	6.4
	P. Reduced visibility	53	12.6
	Q. External influences like channel and shallow water effect.	79	18.9
II. Technical failure	A. Failure in ship's technical systems	24	5.7
	C. Serviceability of navigational aids	8	1.9
	D. Remote control of steering and propulsion	3	0.7
	F. Failure in communication equipment	2	0.5
III. Navigation factors	B. Bridge design and arrangement	1	0.2
	F. Error/deficiency in charts or publications	34	8.1
	M. Bridge manning and organization	35	8.4
	O. Internal communicational failure	5	1.2
IV. Navigation error	X. Inadequate knowledge and experience	4	1.0
	R. Failure due to navigation and manoeuvring	49	11.7
	T. Wrong use of the information from buoys and markers	35	8.4
	S. Failure in operation of equipment	10	2.4
V. Non-compliance	U. Wrong appreciation of traffic information	2	0.5
	N. Inadequate coverage of watch	24	5.7
VI. Other ships	V. Special human factors	10	2.4
	H. Fault or deficiency of other ship	—	—
	Y. Navigational error on other ship	6	1.4
Sum		419	

Gambar I. 5 Faktor Penyebab Tubrukan

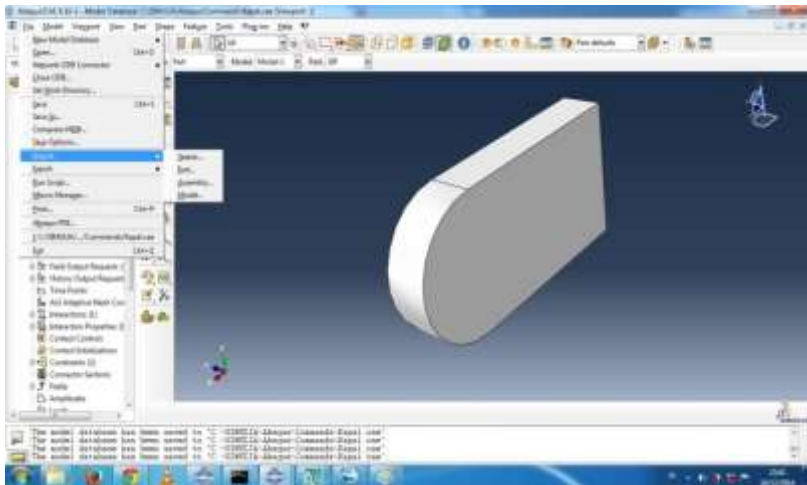
**LAMPIRAN II SOLIDWORK & *FINITE ELEMENT*
*ANALYSIS METHOD***



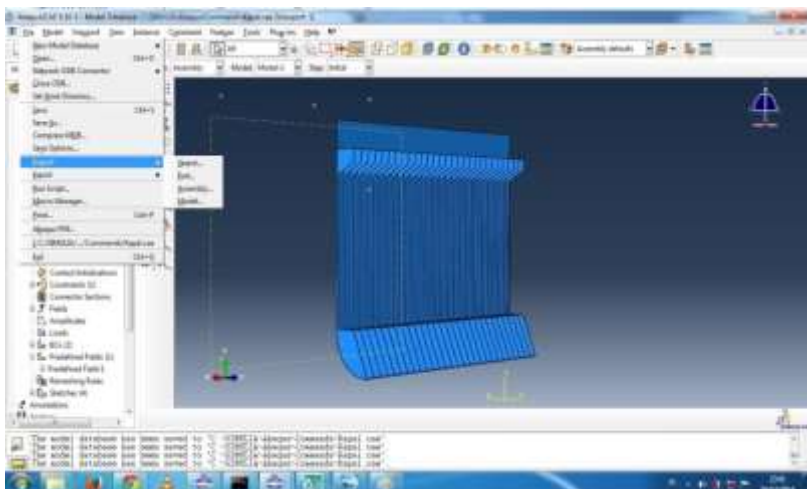
Gambar II. 1 Pembuatan Struktur Kapal di SolidWork



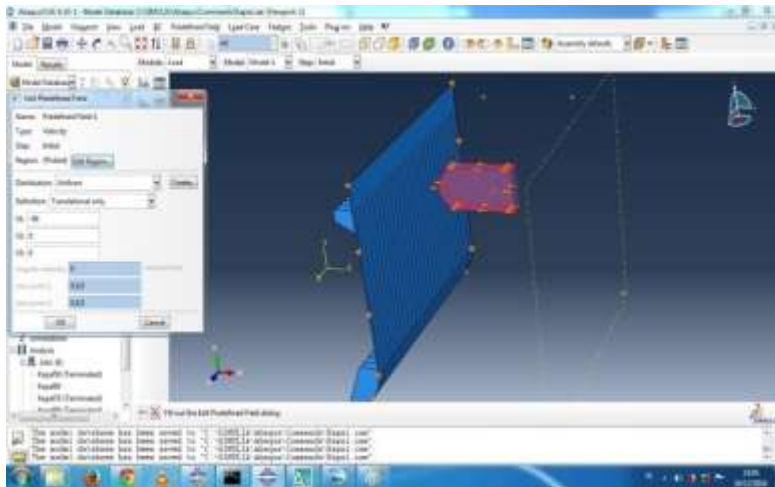
Gambar II. 2 Pembuatan *Colliding Object* di SolidWork



Gambar II. 3 *Import Colliding Object*



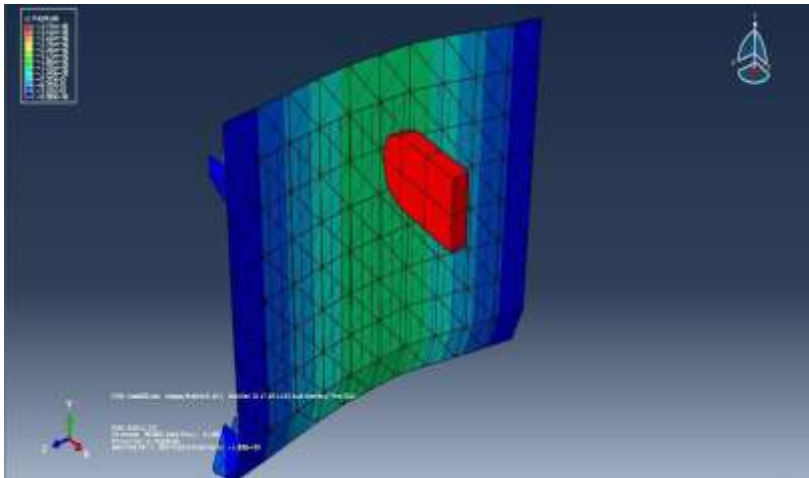
Gambar II. 4 *Import Struktur Kapal*



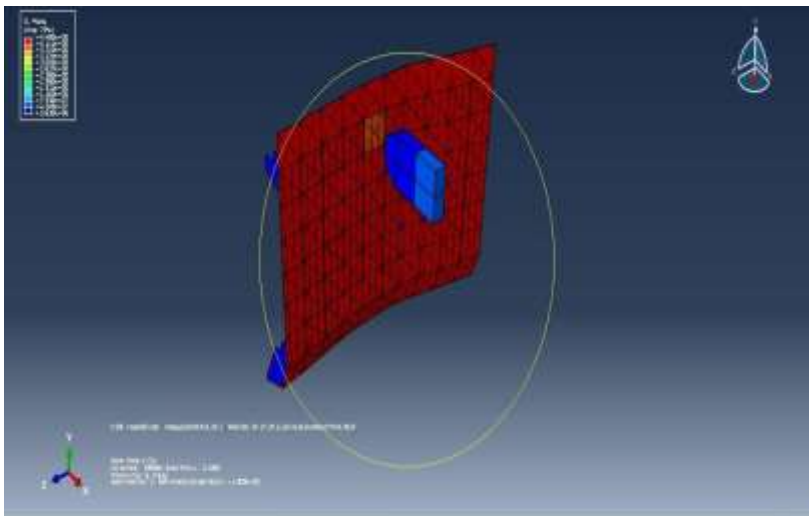
Gambar II. 5 Input Variabel Modelling

Step	Increment	Total Time	CPU Time	Step Time	Variable Time (s)	Kinetic Energy	Total Energy
1	0.040	0.04115	120	0.04115	1.77794e-07	1.81421e-08	1.81421e-08
1	0.080	0.082407	240	0.082407	1.77794e-07	1.81421e-08	1.81421e-08
1	0.160	0.164815	360	0.047939	1.58371e-07	1.67614e-08	1.67614e-08
1	0.240	0.246901	379.2	0.000882	1.58095e-07	1.44099e-08	1.44099e-08
1	0.320	0.328813	481.2	0.005078	1.58095e-07	8.2714e-09	1.11386e-08
1	0.400	0.409919	611.2	0.000048	1.58284e-07	3.20711e-07	1.41407e-08
1	0.480	0.489125	733.2	0.000299	1.68711e-07	1.59714e-07	1.81421e-08
1	0.560	0.5	783.5	0.1	1.58944e-07	1.48814e-07	1.81421e-08
1	0.640	0.619911	861.4	0.115811	1.58891e-07	62703	1.81421e-08
1	0.720	0.712158	1001.4	0.175798	1.58935e-07	5.74712e-06	1.81421e-08
1	0.800	0.8140138	1211.4	0.148338	1.58739e-07	3.88314e-06	1.81421e-08
1	0.880	0.9	1338.8	0.15	1.58641e-07	4.88314e-06	1.81421e-08
1	0.960	0.986601	1294.8	0.196601	1.58131e-07	3.88314e-06	1.81421e-08
1	1.040	1.012214	1738.8	0.182214	1.58841e-07	3.48831e-06	1.81421e-08
1	1.120	1.088436	1886.8	0.196608	1.58611e-07	3.67714e-06	1.81421e-08
1	1.200	1.2	1995.8	0.2	1.58414e-07	3.67799e-06	1.81421e-08
1	1.280	1.28077	1620.7	0.218077	1.58341e-07	3.8221e-06	1.81421e-08
1	1.360	1.351448	1740.7	0.233448	1.58711e-07	0.13171e-06	1.81421e-08
1	1.440	1.42	1658	0.25	1.58211e-07	0.39814e-06	1.81421e-08
1	1.520	1.501173	1870.8	0.285213	1.58711e-07	0.28114e-06	1.81421e-08
1	1.600	1.586173	2088.8	0.288373	1.58314e-07	1.81421e-08	1.81421e-08
1	1.680	1.670198	2218.8	0.29598	1.57956e-07	3.88711e-06	1.81421e-08
1	1.760	1.752258	2258	0.3	1.58285e-07	1.48414e-06	1.81421e-08
1	1.840	1.835145	2371.8	0.345245	1.57814e-07	3.20712e-06	1.81421e-08
1	1.920	1.918427	2483.8	0.198427	1.57814e-07	3.88314e-06	1.81421e-08
1	2.000	2.00007	2611.8	0.245887	1.58484e-07	2.88899e-06	1.81421e-08
1	2.080	2.081	2651.1	0.25	1.58894e-07	1.28479e-06	1.81421e-08

Gambar II. 6 Hasil Modelling V=50



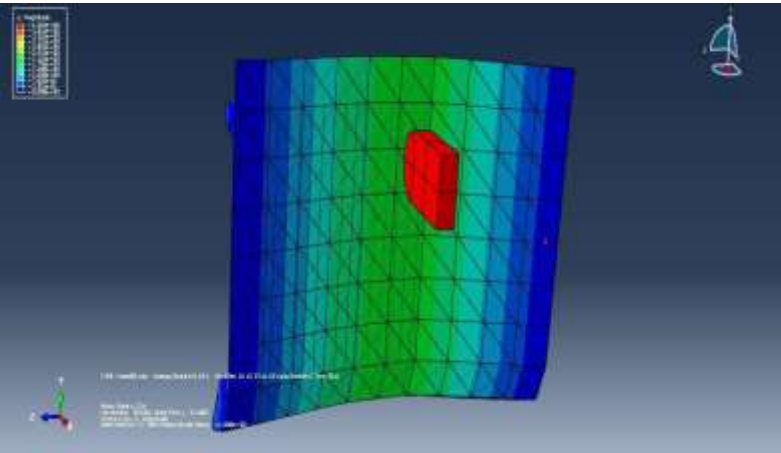
Gambar II. 7 Model Impak Energi $V=50$



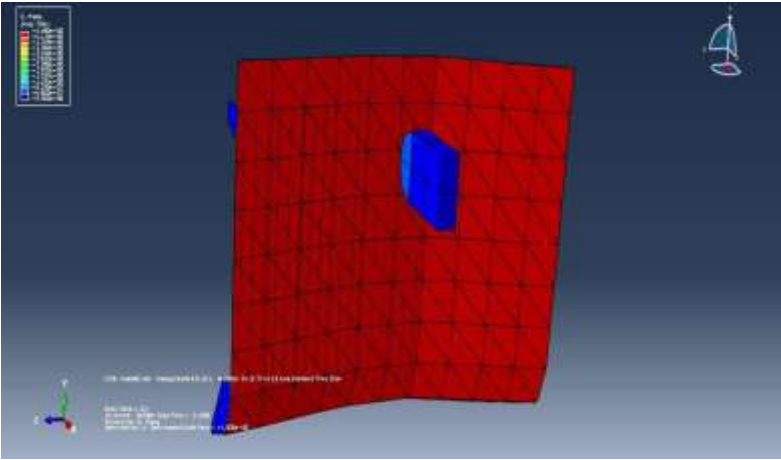
Gambar II. 8 *Stress Distribution* $V=50$

Step	Increment	Total Time	CPU Time	Stop Time	Stable Time Inc	Kinetic Energy	Total Energy
1	2.000017	2.264478	1788.1	0.184478	1.56986e-07	4.00377e+00	2.61138e+00
1	2.005281	8.378919	2915.1	0.378576	1.57129e-07	4.13983e+00	2.61195e+00
1	2.005281	8.378919	3028.1	0.378576	1.58307e-07	4.14782e+00	2.61127e+00
1	2.516284	0.4	3087.9	0.4	1.58077e+07	0.3e+06	2.61177e+00
1	2.817190	0.41565	3127.9	0.41565	1.3813e+01	4.0843e+00	2.61293e+00
1	2.730073	0.438172	3227.8	0.438172	1.58712e+07	4.07463e+00	2.61184e+00
1	3639912	0.445158	3447.8	0.445158	1.60362e+07	4.15207e+00	2.61177e+00
1	3871839	0.45	3455.7	0.45	1.60393e+07	4.18883e+00	2.61131e+00
1	3871700	0.464878	3605.8	0.464878	1.58952e+07	4.07941e+00	2.61176e+00
1	3866481	0.479358	3725.8	0.479358	1.58633e+07	4.0932e+00	2.61178e+00
1	3860030	0.492957	3845.8	0.492957	1.59042e+07	4.09725e+00	2.61180e+00
1	3337483	0.5	3885.7	0.5	1.58207e+07	4.12017e+00	2.61177e+00
1	3395543	0.517520	4015.6	0.517520	1.59329e+07	4.08336e+00	2.61166e+00
1	3404084	0.532125	4135.6	0.532125	1.58747e+07	4.11321e+00	2.61176e+00
1	3481137	0.55	4296.7	0.55	1.58296e+07	4.13545e+00	2.61166e+00
1	3599962	0.567636	4358.1	0.567636	1.58939e+07	4.0717e+00	2.61213e+00
1	3886122	0.582587	4476.1	0.582587	1.58151e+07	4.04802e+00	2.61224e+00
1	3766574	0.6	4574.9	0.6	1.58688e+07	4.09936e+00	2.61204e+00
1	3864436	0.617472	4684.8	0.617472	1.58893e+07	4.05707e+00	2.61222e+00
1	3882881	0.625636	4814.8	0.625636	1.58208e+07	4.057e+00	2.61244e+00
1	4846344	0.65	4918.9	0.65	1.57842e+07	4.08588e+00	2.61258e+00
1	4643237	0.667344	5038.2	0.667344	1.57094e+07	4.04209e+00	2.61254e+00
1	4340581	0.684732	5158.2	0.684732	1.57778e+07	4.03e+06	2.61238e+00
1	4325964	0.7	5264.2	0.7	1.57495e+07	4.01236e+00	2.61268e+00
1	4434121	0.717552	5384.1	0.717552	1.57647e+07	4.02888e+00	2.61222e+00
1	4511830	0.73502	5504.1	0.73502	1.57018e+07	4.01862e+00	2.61271e+00
1	4855584	0.75	5607.7	0.75	1.57025e+07	4.03041e+00	2.61289e+00

Gambar II. 9 Hasil Modelling V=60



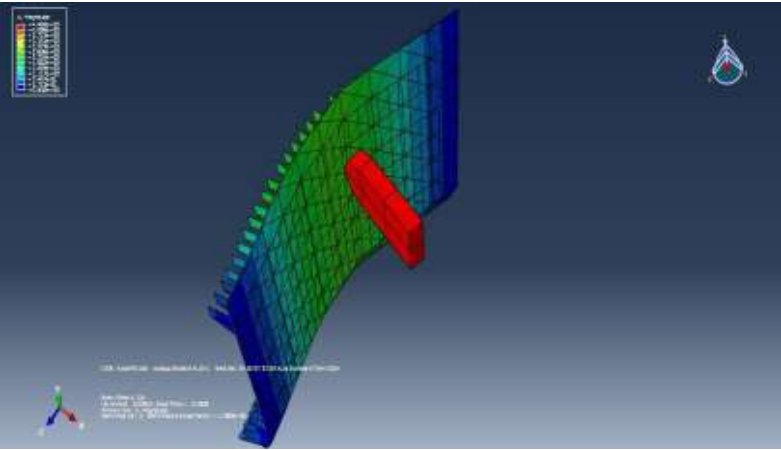
Gambar II. 10 Model Impak Energi V=60



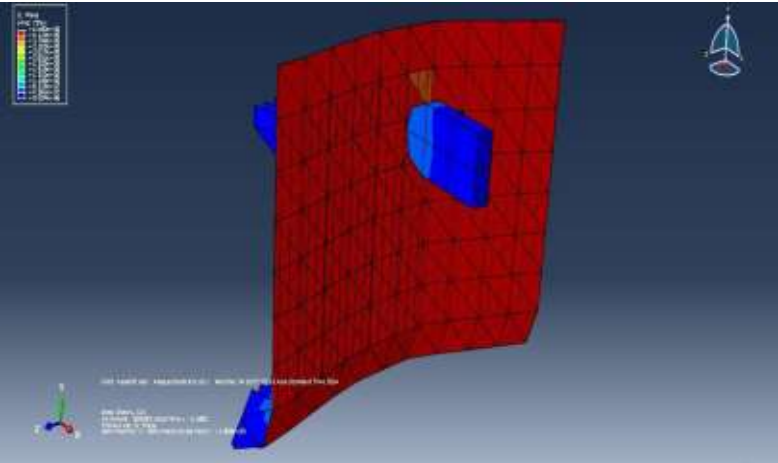
Gambar II. 11 Stress Distribution V=60

Step	Increment	Total Time	CPU Time	Step Time	Stable Time Inc.	Kinetic Energy	Total Energy
1	1547725	0.26	4477.8	8.33	1.31524e-07	6.28851e+06	1.31558e+06
1	1844838	0.265215	1867.7	0.265215	1.53893e-07	4.03379e+06	1.33825e+06
1	1346588	0.288395	1117.3	0.08395	1.3252e-07	6.12255e+06	1.35844e+06
1	1848688	0.295584	1219.3	0.295584	1.38579e-07	6.15511e+06	1.37675e+06
1	1816288	0.3	1272.4	8.3	1.51805e-07	6.18886e+06	1.39885e+06
1	1889512	0.315525	1320.4	0.325129	1.37123e-07	5.95893e+06	1.36825e+06
1	1883888	0.339482	1512.4	0.338462	1.6342e-07	6.05261e+06	1.39634e+06
1	2025982	0.347254	1852.4	0.347124	1.84455e-07	6.00766e+06	1.52838e+06
1	2330025	0.38	2658.7	8.33	1.84808e-07	5.86231e+06	1.58885e+06
1	2383884	0.397981	2775.6	0.387506	1.64309e-07	5.88234e+06	1.58851e+06
1	2388882	0.382342	3880.6	0.382342	1.6214e-07	6.0046e+06	1.55885e+06
1	2482254	0.388828	3013.8	0.388828	1.84578e-07	5.86732e+06	1.53838e+06
1	2884385	0.4	3017.6	8.4	1.84567e-07	5.84811e+06	1.53881e+06
1	2887387	0.418388	3127.6	0.408388	1.67078e-07	5.83331e+06	1.53825e+06
1	2788862	0.438267	3257.4	0.438267	1.67038e-07	5.90793e+06	1.53888e+06
1	2783965	0.45	3345	8.45	1.68736e-07	5.90786e+06	1.5581e+06
1	1883888	0.467685	3464.8	0.467685	1.47956e-07	5.8571e+06	1.55861e+06
1	1880713	0.485581	1984.8	0.485581	1.47154e-07	5.84841e+06	1.5581e+06
1	1883588	0.5	3887	8.5	1.48885e-07	5.89711e+06	1.55834e+06
1	1889972	0.511786	3836.9	0.511786	1.71885e-07	5.89578e+06	1.55825e+06
1	3298884	0.534879	3928.8	0.534879	1.71221e-07	5.81585e+06	1.55847e+06
1	2945288	0.55	4038.8	8.55	1.76242e-07	5.88935e+06	1.55834e+06
1	2448388	0.567134	4150.7	0.567134	1.81818e-07	5.80888e+06	1.55825e+06
1	2517488	0.584742	4278.7	0.584742	1.74747e-07	6.12173e+06	1.55848e+06
1	3812838	0.6	4704.8	8.6	1.76884e-07	5.9245e+06	1.55871e+06
1	3724472	0.618173	4488.7	0.618173	1.71118e-07	5.82946e+06	1.55821e+06
1	3812787	0.63582	4614.7	0.63582	1.71287e-07	5.82778e+06	1.5582e+06

Gambar II. 12 Hasil Modelling V=70



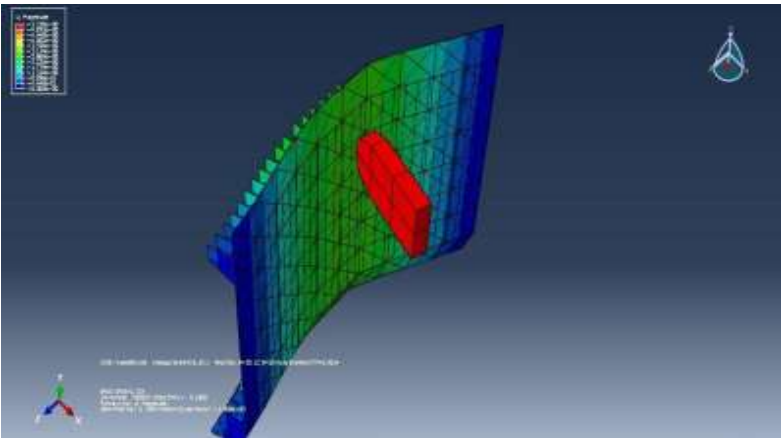
Gambar II. 13 Model Impak Energi $V=70$



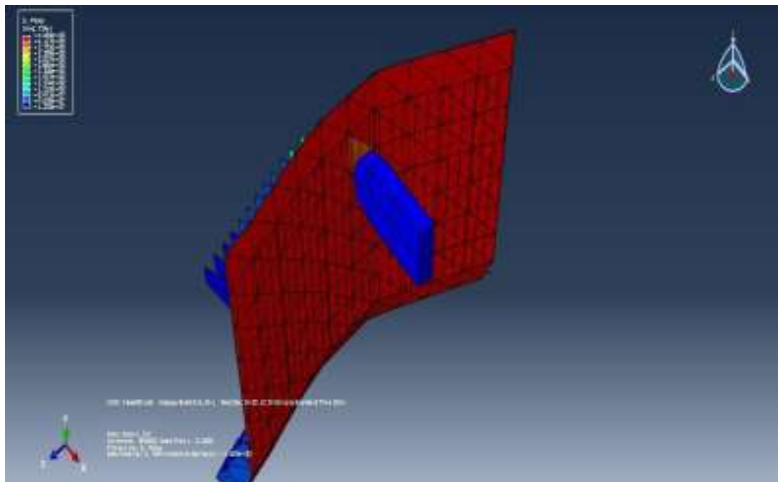
Gambar II. 14 *Stress Distribution* $V=70$

Step	Increment	Total Time	CPU Time	Step Time	Stable Time Inc	Kinetic Energy	Total Energy
1	821.55	0.0040121	120	0.0140121	1.7701e-07	4.64430e+08	4.64430e+08
1	305208	0.0293123	240	0.0293123	1.7759e-07	4.64431e+08	4.64431e+08
1	148461	0.0433638	360	0.0433638	1.8584e-07	1.97582e+08	4.64733e+08
1	291523	0.0500081	413.4	0.0500081	1.5947e-07	1.58531e+08	4.64804e+08
1	170881	0.0643188	538.3	0.0643188	1.64348e-07	1.78471e+08	4.64841e+08
1	464881	0.0778757	659.3	0.0778757	1.5783e-07	1.05122e+08	4.64870e+08
1	193186	0.0811878	778.3	0.0811878	1.5765e-07	4.814e+07	4.64899e+08
1	604881	8.1	834.3	8.1	1.5705e-07	1.17071e+07	4.64700e+08
1	804529	0.13403	971	0.13403	1.58548e-07	1.15951e+08	4.64711e+08
1	388320	0.1738551	1081	0.1738551	1.55944e-07	1.05889e+07	4.64732e+08
1	879881	0.1847387	1231	0.1847387	1.50886e-07	1.14039e+07	4.64732e+08
1	832537	8.15	1238	8.15	1.58112e-07	1.10881e+07	4.64705e+08
1	9120106	0.187553	1397.9	0.187553	1.54814e-07	8.88812e+06	4.64691e+08
1	12114828	0.177408	1517.8	0.177408	1.53426e-07	1.08741e+07	4.64711e+08
1	1326481	0.181128	1637.9	0.181128	1.58825e-07	1.05888e+07	4.64729e+08
1	1366841	8.2	1713.8	8.2	1.499e+07	1.00881e+07	4.64707e+08
1	1362352	0.214387	1838.1	0.214387	1.4867e-07	8.8634e+06	4.64687e+08
1	1436891	0.228183	1956.3	0.228183	1.48843e-07	1.05121e+07	4.64675e+08
1	1540383	0.241298	2078.7	0.241298	1.46484e-07	1.0033e+07	4.64675e+08
1	1802587	8.25	2138.8	8.25	1.46205e-07	8.7841e+06	4.64685e+08
1	1865388	0.262074	2256.7	0.262074	1.44351e-07	8.5881e+06	4.64647e+08
1	1786345	0.277551	2378.3	0.277551	1.44417e-07	8.87314e+06	4.64635e+08
1	1872237	8.26031	2438.3	8.26031	1.42584e-07	1.00086e+07	4.64631e+08

Gambar II. 15 Hasil Modelling V=80



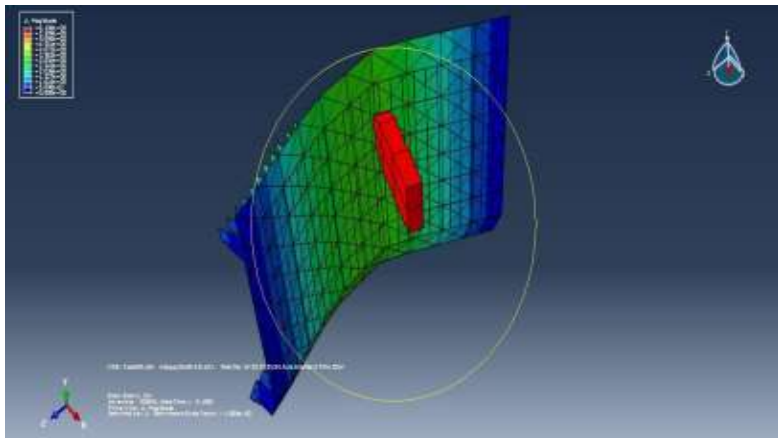
Gambar II. 16 Model Impak Energi V=80



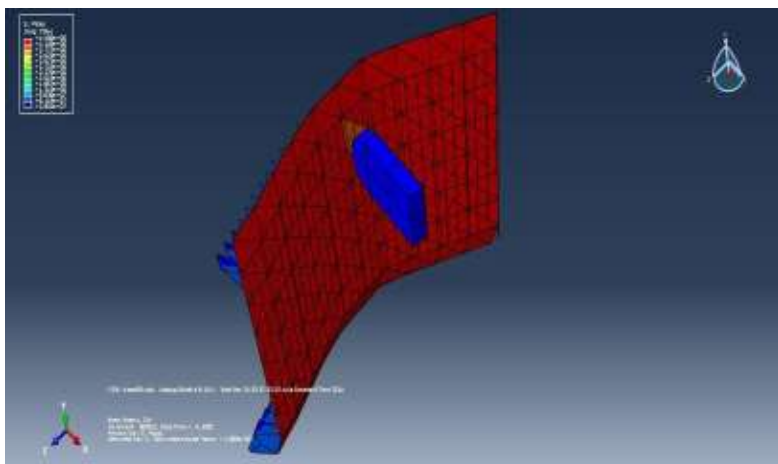
Gambar II. 17 *Stress Distribution V=80*

Step	Increment	Total Time	CPU Time	Step Time	Stable Time Int.	Kinetic Energy	Total Energy
1	0.01841	0.044456	3.1175	0.004336	1.3181e+07	1.68121e+07	1.67731e+08
2	0.000751	0.01	3.86139	0.01	1.36437e+07	1.68847e+07	1.67731e+08
3	0.000308	0.004959	3.58138	0.004959	1.36261e+07	1.68525e+07	1.67731e+08
4	0.000138	0.003918	3.58138	0.003918	1.32457e+07	1.68177e+07	1.67731e+08
5	0.000098	0.00421	3.61138	0.00421	1.38886e+07	1.58819e+07	1.67731e+08
6	0.000237	0.01	3.8707	0.01	1.19377e+07	1.58867e+07	1.67731e+08
7	0.000284	0.012313	3.88869	0.012313	1.34846e+07	1.68889e+07	1.67731e+08
8	0.00007	0.008811	4.01336	0.008811	1.31847e+07	1.68913e+07	1.67731e+08
9	0.000788	0.03888	4.01336	0.03888	1.16708e+07	1.58617e+07	1.67731e+08
10	0.000553	0.01	4.01136	0.01	1.19528e+07	1.58753e+07	1.67731e+08
11	0.000886	0.026025	4.01136	0.026025	1.38211e+07	1.58788e+07	1.67731e+08
12	0.000238	0.078657	4.01136	0.078657	1.38828e+07	1.58823e+07	1.67731e+08
13	0.012881	0.079460	4.01136	0.079460	1.58847e+07	1.58872e+07	1.67731e+08
14	0.000231	0.01	4.07113	0.01	1.25815e+07	1.58886e+07	1.67731e+08
15	0.000538	0.010389	4.08113	0.010389	1.40251e+07	1.58917e+07	1.67731e+08
16	0.000189	0.00811	7.82112	0.00811	1.33339e+07	1.58937e+07	1.67731e+08
17	0.000388	0.008889	7.81112	0.008889	1.58817e+07	1.58817e+07	1.67731e+08
18	0.000451	0.01	7.81013	0.01	1.43846e+07	1.58788e+07	1.67731e+08
19	0.000381	0.008701	7.81112	0.008701	1.51381e+07	1.58747e+07	1.67731e+08
20	0.000138	0.0085188	7.84215	0.0085188	1.51381e+07	1.58827e+07	1.67731e+08
21	0.000073	0.01	7.8417	0.01	1.51288e+07	1.58784e+07	1.67731e+08
22	0.000238	0.0103888	7.86138	0.0103888	1.51379e+07	1.58948e+07	1.67731e+08
23	0.000138	0.0079351	7.86138	0.0079351	1.51384e+07	1.58943e+07	1.67731e+08
24	0.000523	0.01	7.86138	0.01	1.51283e+07	1.58957e+07	1.67731e+08
25	0.000213	0.008081	7.860817	0.0080817	1.51275e+07	1.58947e+07	1.67731e+08
26	0.000143	0.0080429	8.0217	0.0080429	1.51358e+07	1.58944e+07	1.67731e+08
27	0.000086	0.01	8.028	0.01	1.58881e+07	1.58884e+07	1.67731e+08

Gambar II. 18 Hasil *Modelling* V=90



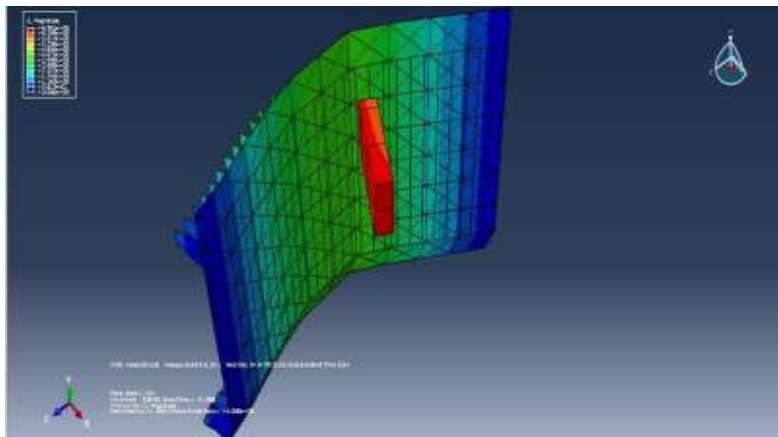
Gambar II. 19 Model Impak Energi $V=90$



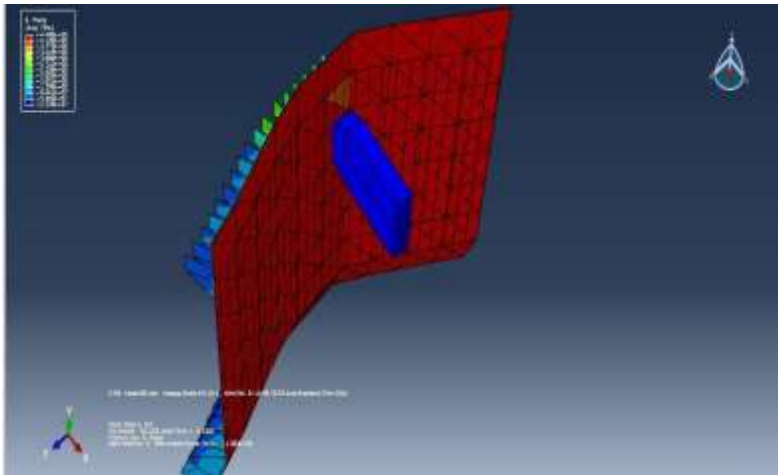
Gambar II. 20 Stress Distribution $V=90$

[illegible]

Gambar II. 21 Hasil *Modelling* V=100



Gambar II. 22 Model Impak Energi V=100



Gambar II. 23 *Stress Distribution V=100*

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Hansen, Peter Friis. 2008. IWRAP Mk II, Basic Modelling Principles for Prediction of Collision and Grounding Frequencies , Technical University of Denmark.
- [2] Zhang, Shengming. 1999. The Mechanics of Ship Collision, Technical University of Denmark.
- [3] Spouge, Spouge. 1999. “A Guide to Quantitative Risk Assessment for Offshore Installations”, DNV Technica.
- [4] Kristiansen, Svein. 2005. “Maritime Transportation: Safety Management and Risk Analysis”, DNV Technica.
- [5] Xiaobo,Qu. 2010. Ship Collision Risk Assessment for the Singapore Strait. Journal of Risk Assement.
- [6] Kaneko, F. 2002. Methods for probabilistic safety assessments of ships. Journal of Marine Science and Technology.
- [7] Jung Sik Jeong. 2012. Risk Assessment Model of Maritime Traffic in Time-Variant CPA Environments inWaterway. Journal of Advanced Computational Intelligence and Intelligent Informatics.
- [8] Montewka J, Hinz T, Kujala P, Matusiak J, 2010. Probability modeling of vessel collision. Journal Reliability Engineering and System Safety.
- [9] National Transportation Safety Board. 2010. Collision of Tankship Eagle Otome with Cargo Vessel Gull Arrow and Subsequent Collision with the Dixie Vengeance Tow Sabine-Neches Canal, Port Arthur, Texas. Accident Report NTSB.
- [10] Guema, L. 2009. METHODS OF SHIP-BRIDGE COLLISION SAFETY EVALUATION.
- [11] Otto-Ville E Sormunen, Floris Goerlandt, Jani Häkkinen. 2013. Uncertainty in maritime risk analysis: Extended case-

study on chemical tanker collisions. Journal of Engineering for the Maritime Environment.

- [12] DNV-RP-C204. 2010. Design Against Accidental Loads. Det Norske Veritas.
- [13] <http://www.adelaidenow.com.au>. Diakses pada tanggal 01 Juli 2014 pukul 20.00WIB
- [14] <http://www.jiipe.com/projects3>. Diakses pada tanggal 01 Juli 2014 pukul 20.30WIB

BIOGRAFI PENULIS



Penulis lahir di kota Jakarta pada tanggal 16 November 1993, dan merupakan anak kedua dari dua bersaudara dari pasangan Budiono Widagdo dan Yuli Ismiyati. Terlahir dengan nama Bimo Wira Para, biasa dipanggil Bimo. Penulis telah menjalani pendidikan formal di TK Islam At-Taqlwa, SDN Kaliasin I, SMPN 2 Surabaya, SMAN 61 Jakarta Timur. Pada tahun 2011, penulis diterima

sebagai mahasiswa Jurusan Teknik Sistem Perkapalan FTK ITS melalui jalur SNMPTN. Di Jurusan Teknik Sistem Perkapalan, penulis mendalami bidang keahlian *Reliability, Availability, Maintainability, and Safety* (RAMS). Penulis menyelesaikan masa studi dalam waktu tempuh 7 semester. Jurusan Teknik Sistem Perkapalan merupakan tempat yang sangat baik bagi penulis dalam menggali ilmu dan mengembangkan *softskill* untuk meraih masa depan yang lebih baik.

Bimo Wira Para

Mahasiswa Teknik Sistem Perkapalan – FTK ITS Surabaya

bimowirap@gmail.com

bimowirapara@yahoo.co.id